



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA EN EL  
PÁRAMO DE IGUALATA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO,  
ECUADOR**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:** BYRON DANIEL PAÑA VALLEJO

**DIRECTORA:** Dra. MAGDY MILENI ECHEVERRÍA GUADALUPE PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Byron Daniel Paña Vallejo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, BYRON DANIEL PAÑA VALLEJO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnico de Chimborazo.

Riobamba, 05 de mayo de 2022






**Byron Daniel Paña Vallejo**

**060433906-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**DETERMINACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA EN EL PÁRAMO DE IGUALATA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, ECUADOR**”, realizado por el señor: **BYRON DANIEL PAÑA VALLEJO**, ha sido revisado minuciosamente por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos González García, PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-05-05
Dra. Magdy Mileni Echeverría Guadalupe, PhD. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-05-05
Dra. Norma Soledad Erazo Sandoval, PhD. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-05-05

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a Dios quién guio mis pasos para poder llegar a mi meta, a mis padres quienes siempre han sido un apoyo y mi inspiración para ser mejor ser cada día de mi vida, a mis hermanos quiénes siempre han confiado en mí y han sido un pilar fundamental para llegar hasta aquí y finalmente a mis amigos y profesores que gracias a sus consejos y ayuda me han ayudado a ser una persona llena de conocimientos y valores.

*Byron*

## AGRADECIMIENTO

La elaboración de esta tesis no sería posible sin la ayuda de grandes personas e instituciones, por lo que es de mí manifestar agradecer a:

A cada uno de los miembros del grupo GIDAC-ESPOCH, por la ayuda y conocimientos impartidos en el presente trabajo de titulación.

Magdy Echeverría por su ayuda y orientación en este proyecto de investigación.

Norma Erazo por paciencia y conocimientos impartidos en beneficio del presente trabajo.

Franklin Cargua quién por su apoyo para la elaboración en este trabajo.

Carlos Socoy quién con su apoyo se pudo realizar el respectivo trabajo práctico.

Silvia Paña por su ayuda en el trabajo de laboratorio para los análisis respectivos de suelo.

Lizbeth y Shirley, quienes gracias a su ayuda pude mejorar el trabajo práctico y técnico.

***Byron***

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas.....	6
1.2.1. <i>Cambio climático</i> .....	6
1.2.2. <i>Gases de efecto invernadero</i> .....	7
1.2.3. <i>Dióxido de Carbono</i> .....	7
1.2.4. <i>Páramos</i> .....	7
1.2.5. <i>Suelo</i> .....	9
1.2.6. <i>Actividad microbiana</i> .....	9
1.2.7. <i>Respiración del suelo</i> .....	9
1.2.8. <i>Factores que afectan la respiración del suelo</i> .....	10
1.2.9. <i>Métodos para la cuantificación de respiración del suelo</i> .....	11
1.2.9.1. <i>Titulación Química</i> .....	11
1.2.9.2. <i>Gel de solvita</i> .....	11
1.2.9.3. <i>Cromatografía de gases</i> .....	11
1.2.10. <i>Propiedades químicas del suelo</i> .....	12
1.2.10.1. pH.....	12
1.2.10.2. Conductividad eléctrica.....	12
1.2.11. <i>Propiedades físicas del suelo</i> .....	13
1.2.11.1. Densidad aparente.....	13
1.2.11.2. <i>Textura</i> .....	13
1.2.12. <i>Materia Orgánica del suelo</i> .....	13
1.2.13. <i>Carbono orgánico</i> .....	14

<b>1.3.</b>	<b>Bases conceptuales</b> .....	15
1.3.1.	<i>Páramo andino ecuatoriano</i> .....	15
1.3.2.	<i>Suelo</i> .....	15
1.3.3.	<i>Respiración edáfica de los páramos</i> .....	15
1.3.4.	<i>Microorganismos</i> .....	15
1.3.5.	<i>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</i> .....	16

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	17
2.1.	<b>Área de estudio</b> .....	17
2.2.	<b>Población y muestra</b> .....	18
2.2.1.	<i>Población</i> .....	18
2.2.2.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	18
2.3.	<b>Tipo y diseño de la investigación</b> .....	18
2.3.1.	<i>Tipo de Investigación</i> .....	18
2.3.2.	<i>Variables</i> .....	18
2.3.3.	<i>Diseño de la investigación</i> .....	19
2.3.3.1.	Diseño experimental .....	19
2.3.4.	<i>Selección de la muestra</i> .....	19
2.4.	<b>Materiales y Equipos</b> .....	20
2.4.1.	<i>Materiales</i> .....	20
2.4.2.	<i>Equipos</i> .....	21
2.5.	<b>Métodos y técnicas</b> .....	21
2.5.1.	<i>Fase de campo</i> .....	21
2.5.2.	<i>Fase de laboratorio</i> .....	22
2.5.2.1.	pH y conductividad eléctrica.....	22
2.5.2.2.	<i>Densidad y Humedad</i> .....	23
2.5.5.3.	<i>Textura</i> .....	24
2.5.5.4.	<i>Materia Orgánica y Carbono Orgánico</i> .....	24
2.5.5.5.	<i>Respiración edáfica</i> .....	26

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
3.1.	<b>Resultado de las propiedades físico-químicas del suelo de páramo de Igualata</b> ...32	
3.2.	<b>Evaluación cuantitativa de la respiración edáfica en el páramo de Igualata</b> .....	38



3.2.1.	<i>Resultado de la respiración edáfica del suelo de páramo de Igualata.</i>	38
3.2.3.	<i>Respiración edáfica y estratos</i>	39
3.2.4.	<i>Análisis de respiración edáfica en relación a la altitud y estratos del páramo de Igualata</i>	40
3.3.	<b>Correlación de la respiración edáfica y de los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata.</b>	41
3.4.	<b>Discusión de resultados</b>	43
3.4.1.	<i>Parámetros físicos químicos del suelo del páramo de Igualata.</i>	43
3.4.1.1.	<i>pH del suelo</i>	43
3.4.1.2.	<i>Conductividad del suelo</i>	43
3.4.1.3.	<i>Densidad aparente del suelo</i>	43
3.4.1.4.	<i>Humedad</i>	44
3.4.1.5.	<i>Materia Orgánica</i>	44
3.4.1.6.	<i>Carbono Orgánico</i>	44
3.4.1.7.	<i>Textura</i>	44
	<b>CONCLUSIONES</b>	47
	<b>RECOMENDACIONES</b>	48
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Clasificación de pH respecto al suelo .....	12
<b>Tabla 2-1:</b>	Conductividad Eléctrica .....	12
<b>Tabla 3-1:</b>	Clasificación de la Textura .....	13
<b>Tabla 4-1:</b>	Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo de la tabla de Munsell. ....	14
<b>Tabla 1-2:</b>	Puntos de muestreo.....	19
<b>Tabla 1-3:</b>	Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm. ....	32
<b>Tabla 2-3:</b>	Resultados de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 30-60 cm. ....	33
<b>Tabla 3-3:</b>	Resultados de la respiración edáfica.....	38
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis de la Varianza (ANOVA).....	40
<b>Tabla 5-3:</b>	Análisis de Regresión múltiple a una profundidad de 0-30 cm.....	41
<b>Tabla 6-3:</b>	Análisis de Regresión múltiple a una profundidad de 30-60 cm.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Efecto Invernadero.....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Funcionamiento del suelo .....	10
<b>Figura 1-2:</b>	Mapa del área de estudio del páramo de Igualata.....	17
<b>Figura 2-2:</b>	Mapa del área de estudio del páramo de Igualata.....	20
<b>Figura 3-2:</b>	Recolección de la muestra del suelo .....	22
<b>Figura 4-2:</b>	Medición de pH y CE .....	23
<b>Figura 5-2:</b>	Recolección del suelo para determinar densidad.....	24
<b>Figura 6-2:</b>	Crisoles en el desecador.....	25
<b>Figura 7-2:</b>	Extracción de crisoles .....	26
<b>Figura 8-2:</b>	Preparación de soluciones.....	27
<b>Figura 9-2:</b>	Solución de HCl.....	28
<b>Figura 10-2:</b>	Preparación del suelo para la incubación .....	30
<b>Figura 11-2:</b>	Adición de fenolftaleína a la solución .....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Composición del suelo.....	9
<b>Gráfico 1-3:</b>	Materia orgánica de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	34
<b>Gráfico 2-3:</b>	Densidad aparente de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	35
<b>Gráfico 3-3:</b>	Humedad de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	35
<b>Gráfico 4-3:</b>	pH de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	36
<b>Gráfico 5-3:</b>	Carbono orgánico de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	37
<b>Gráfico 6-3:</b>	Conductividad eléctrica de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 y de 30-60 cm. ....	37
<b>Gráfico 7-3:</b>	Distribución de la respiración edáfica con respecto al rango altitudinal del páramo de Igualata. ....	39
<b>Gráfico 8-3:</b>	Distribución de la respiración edáfica con respecto a estratos de herbazal del páramo de Igualata.....	39
<b>Gráfico 9-3:</b>	Correlación de la respiración edáfica y los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm.....	41
<b>Gráfico 10-3:</b>	Correlación de la respiración edáfica y los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata a una profundidad de 30-60 cm.....	42

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS PARA LA PREPARACIÓN DE REACTIVOS.
- ANEXO B:** MATERIALES USADOS PARA EL MUESTREO.
- ANEXO C:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.
- ANEXO D:** MATERIALES Y REACTIVOS USADOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA.
- ANEXO E:** CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA.
- ANEXO F:** CUANTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>DA:</b>	Densidad Aparente
<b>C:</b>	Carbono
<b>CE:</b>	Conductividad Eléctrica
<b>CEC:</b>	<b>Capacidad de Intercambio Catiónico</b>
<b>CO:</b>	Carbono Orgánico
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de Carbono
<b>GIDAC:</b>	Grupo de Investigación y Desarrollo para el Medio Ambiente y Cambio Climático
<b>COS:</b>	Carbono Orgánico del Suelo
<b>RE:</b>	Respiración Edáfica.

## RESUMEN

En el presente estudio se determinó la respiración edáfica (RE) en el páramo de Igualata, cantón Guano. Se establecieron quince puntos de estudio, donde cada punto representa una parcela, correspondiente a noventa muestras de suelos obtenidos a profundidades de 0-30cm y 30-60cm. Se analizó por triplicado la respiración edáfica y propiedades fisicoquímicas (% de carbono orgánico, % de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, % de humedad) para cada parcela de suelo analizada. Los resultados promedios para la RE fue 0,59 microg CO<sub>2</sub>-C/g por hora. Para el carbono orgánico se obtuvo un porcentaje de 2,61% a la profundidad 0-30cm y 2,53 % en la profundidad 30-60 cm, con respecto a la materia orgánica se tuvo un valor de 4,50 % en la profundidad de 0-30cm y 4,36% para la profundidad siguiente, la humedad mostró valores promedios de 33,53% para la profundidad 0-30cm y 33,35% en la siguiente profundidad, para la profundidad de 0-30cm se obtuvieron valores de conductividad eléctrica de 34,03 y 33,52 microS/cm para la profundidad 30-60cm, la densidad aparente mostró valores promedio similares en ambas profundidades, el pH en ambas profundidades va de 5-6. Se puede concluir que no hay correlaciones significativas entre la respiración edáfica y las propiedades fisicoquímicas, lo cual, puede deberse a condiciones propias del lugar de estudio, ya sean ambientales o del propio suelo. Se recomienda realizar estudios temporales, para evidenciar el cambio que tienen los ecosistemas y el suelo en estas áreas de interés ecológico.

**Palabras clave:** <PÁRAMO>, <RESPIRACIÓN EDÁFICA>, <CAMBIO CLIMÁTICO>, <MICROORGANISMOS>, <PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS>

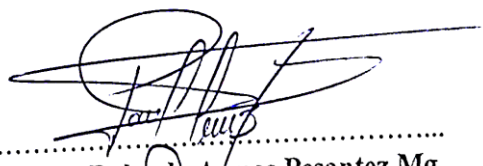


0908-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The current study determined the edaphic respiration (ER) in the Iguatala paramo, located in Guano county. Fifteen study points were established, each point represents a plot, corresponding to ninety soil samples obtained at depths from 0 to 30cm and from 30 to 60cm. The edaphic respiration and physicochemical properties (organic carbon percentage, organic matter percentage, pH, electrical conductivity, bulk density, humidity percentage) were analyzed in triplicate for each plot. The average results for ER were 0.59 microg CO<sub>2</sub>- C/g per hour. For organic carbon, 2.61 % was obtained at the depth from 0 to 30 cm and 2.53 % at the depth from 30 to 60 cm. regarding the organic matter a value of 4.50 % was obtained at the depth from 0 to 30 cm and 4.36 % for the following depth. Humidity reflected average values of 33.53% at a depth from 0 to 30cm and 33.35% at the next depth, electrical conductivity values of 34.03 and 33.52 microS/cm for a depth from 30 to 60cm, bulk density revealed similar average values at both depths, pH ranges from 5 to 6 at both depths. It is concluded that there are no significant correlations between edaphic respiration and physicochemical properties due to the conditions of the study area, either environmental or soil conditions. It is recommended to carry out temporal studies in order to demonstrate the changes in the ecosystems and soil of these areas which have ecological interest.

**Keywords:** <PARAMO>, <EDAPHIC RESPIRATION>, <CLIMATE CHANGE>, <MICROORGANISMS>, <PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES>



.....  
Lic. Paul Rolando Armas Pesantez Mg.  
0603289877



## INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales más preocupantes en la actualidad, pudiendo ocasionar daños a los recursos naturales e inclusive a las propias personas. El cambio de clima causado directa o indirectamente por la actividad humana ha provocado un incremento en la temperatura atmosférica y en los océanos, debido a que, las mismas actividades antropogénicas contribuyen a la emanación de gases de combustible fósil hacia la atmósfera, todo esto a su vez conlleva a que se produzca el efecto invernadero (Espejel, 2015, pp.1277-1290).

El páramo está ubicado en Centro y Suramérica, en la franja entre el bosque montano y el límite superior de la nieve perpetua, es decir, aproximadamente entre 3000 y 5000 msnm. Se caracteriza por ser un ambiente frío y húmedo, con temperaturas diarias que fluctúan entre los  $-3^{\circ}\text{C}$  y  $+20^{\circ}\text{C}$  y una precipitación anual que varía desde 500 hasta sobre 3000 mm (Cargua, 2014, pp.83-92).

Los páramos en el Ecuador cubren un 5% del territorio patrio. Esto haría pensar que, al contrario de lo que sucede con ecosistemas más extensos como los bosques amazónicos, su importancia es también relativamente baja. Los páramos, son fundamentales desde varios puntos de vista. Por eso es de lamentar que el páramo sea precisamente uno de los ecosistemas menos conocidos del país. (Vásquez et al, 2001, p.59).

La respiración del suelo es muy importante con respecto al cambio climático, dado que este indica si un ecosistema se comporta como fuente o sumidero de carbono. La materia orgánica activa, representa alrededor del 10-20 % de la materia orgánica total del suelo de tal manera que la medición del dióxido de carbono respirado es una estimación de la actividad microbiana; tal actividad varía en función de diferentes factores, como el uso del suelo, mineralogía, cobertura vegetal, prácticas de manejo, calidad de los residuos que entran al sistema (Vásquez, 2013, pp. 369-379).

El páramo de Igualata actualmente se encuentra en proceso de regeneración mediante el proyecto restauración forestal ejecutado desde el año 2014 (Carrasco et al, 2016); por tal motivo es razón de importancia identificar la variable respiración como un indicador de la actividad biológica de los suelos y en consideración a la demanda actual por el estudio cuantitativo de la materia orgánica donde se propone, evaluar el efecto del suelo del páramo y la emisión del  $\text{CO}_2$  respirado, producto de la actividad biológica y su relación con las propiedades del suelo.

## JUSTIFICACIÓN

Los páramos son ecosistemas de vital importancia para la conservación de la biodiversidad, mitigación del cambio climático, tienen la capacidad de capturar carbono y regular el clima, además de presentar atributos biológicos, geográficos, sociales y económicos; estos ecosistemas en general poseen diferentes formas de vida: son el hábitat de especies únicas en el mundo: 6 de cada 10 especies de plantas que se encuentran en los páramos y sólo habitan allí (Herrera, 2013, p.89). En el páramo existe un interés científico por los cambios en las condiciones meteorológicas, así como en la concentración de carbono orgánico a distintas profundidades del suelo y a distintas alturas de biomasa, densidad aparente del suelo, densidad de flora, además de la calidad de agua del humedal del páramo y de la unidad educativa de la comunidad. El páramo es importante por su gran diversidad cultural, los comuneros dependen directa o indirectamente del páramo, porque obtienen alimentos, agua para beber; así organizan y desarrollan su vida en comunidad (Rodríguez, 2011, pp. 49-80). Con una buena protección del páramo de Igualata, evitando la quema de la vegetación natural, la erosión del suelo, las alteraciones ambientales que generan las actividades agrícolas y ganaderas, la caza furtiva, introducción de especies, aparición de vectores y la afectación a los humedales del páramo se está previniendo la emisión de carbono en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y con ello el establecimiento de una medida de conservación del páramo manejado por la comunidad de Pichán Central (Haro, 2012, pp. 40-85).

El cuidado del páramo de Igualata beneficia de manera directa a la comunidad de Pichán Central; y en cambio favorece de manera indirecta a la población de los cantones Guano y Riobamba pertenecientes a la provincia de Chimborazo (Rodríguez, 2011). La comunidad Pichán Central ha demostrado su preocupación por el páramo, siendo conscientes de que su conservación es de vital importancia para el equilibrio del ecosistema de la zona, por tal razón han permitido que se realicen distintos estudios en esta zona de páramo. Dichos estudios permiten obtener analizar la actividad microbiana y los flujos de carbono en el suelo del páramo de estudio.

La investigación se llevó a cabo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con recursos técnicos e instrumentos, respaldado por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), en el programa “Building a Resilient Future for the Andean Paramo Ecosystem of Ecuador” perteneciente al proyecto “Medios de Vida como Estrategia para la Planificación y Gestión en la Adaptación basada en Ecosistemas-PACHA”

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Determinar la respiración edáfica en el páramo de Igualata, provincia de Chimborazo, Ecuador.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer las propiedades físico-químicas (materia orgánica, carbono orgánico, conductividad eléctrica, pH, humedad y densidad aparente) en el suelo del páramo de Igualata, provincia de Chimborazo.
- Evaluar cuantitativamente la respiración edáfica en el páramo de Igualata, provincia de Chimborazo.
- Analizar la relación entre las propiedades físico-químicas y la respiración edáfica del suelo del páramo del Igualata, provincia de Chimborazo.

## **PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

### **Hipótesis nula**

No existe correlación entre la respiración edáfica y los estratos, rango altitudinal y los parámetros físico-químicos del suelo perteneciente al páramo de Igualata, provincia de Chimborazo.

### **Hipótesis alternativa**

No existe correlación entre la respiración edáfica y los estratos, rango altitudinal y los parámetros físico-químicos del suelo perteneciente al páramo de Igualata, provincia de Chimborazo.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. *Antecedentes*

Morocho y Chuncho (2019, pp. 71-83), en su trabajo de investigación “Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión” describen a los páramos ecuatorianos con un piso altitudinal de 3300 m.s.n.m como aquellos que poseen un clima neotropical, baja densidad aparente, alta conductividad eléctrica, son considerados como sumidero de carbono, albergan alta diversidad de flora y fauna, capaces de conservar el agua y cubren el 7% del territorio.

Mena y Hofstede (2006, pp. 91-106), en su estudio “Los páramos ecuatorianos” identifican que es un ecosistema frágil, con clima frío, históricamente cultural, al mismo tiempo determinan que las actividades humanas, principalmente la actividad agrícola incrementa la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al destruir suelos con pajonales o bosques nativos mismos que poseen alto contenido de materia orgánica, por lo tanto, el CO<sub>2</sub> es liberado a la atmósfera por la oxidación del carbono.

Los resultados de Echeverría et al. (2018, pp. 2-8), en “Quantification of organic carbon stored in the soil in the paramo of Igualata, Chimborazo province-Ecuador” señalan que, el promedio tanto del stock COS y materia orgánica incrementa con la altitud, caso contrario sucede cuando existe una mayor profundidad, la razón es la baja temperatura del páramo Igualata de este modo la descomposición es lenta, el COS se acumula bajo diferentes profundidades y la emisión del CO<sub>2</sub> a la atmósfera se produce por la respiración de las raíces y organismos heterótrofos, resultados dependientes de las actividades agrícolas y ganaderas debido a que afecta drásticamente la estructura y el funcionamiento de los páramos.

Lopera (2019, pp. 234-239), en el artículo “Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá” menciona que la emisión de CO<sub>2</sub> de los suelos depende del relieve, cobertura, propiedades físico-químicas, vegetación, entre otros, el objetivo fue evaluar la respiración edáfica con factores climáticos - edafológicos, las plantaciones de eucalipto ( $3.06 \pm 1.5 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) emiten mayor cantidad de CO<sub>2</sub> por el alto % arena mismo que significa fácil liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por aireación, en comparación de los páramos ( $1.85 \pm 1.41 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), consecuencia de las bajas temperaturas que inhiben la actividad microbiana y degradación de MO, además las variables temperatura y altitud presentan una correlación positiva mientras que la humedad una correlación negativa.

Morales (2020, pp. 1-50), “Relación de la respiración edáfica con las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo”, vincula la respiración edáfica (método titulación) de suelos intervenidos y no intervenidos con variables físico-

químicas, obteniendo en promedio para suelos no intervenidos; RE 0.57  $\mu\text{S CO}_2\text{-C/g}$  por hora, 16.56% MO, 6.67% CO, CE 148.61  $\mu\text{S/cm}$ , humedad 53.22%, densidad aparente 0.74  $\text{g/cm}^3$ , pH 5.31, además todas las variables poseen una correlación significativa con la RE, por otro lado, en suelos intervenidos la respiración edáfica (RE) es de 0,80  $\mu\text{S CO}_2\text{-C/g}$  por hora, 3.9% MO, 2.35% CO, CE 52.46  $\mu\text{S/cm}$ , humedad 20.94%, densidad aparente 1.17  $\text{g/cm}^3$ , pH 6.46, y no posee correlación significativa con RE.

Conclusiones: “Cuantificación de la respiración edáfica como medida de la actividad microbiana en suelos de la microcuenca del río Chimborazo” se estudia cuatro tipos de suelos páramo, pastizales, plantaciones forestales y cultivo, para lo cual, se analiza respiración edáfica, pH, conductividad, humedad, materia orgánica y nitrógeno, resultando que la RE presenta correlación significativa con la MO y el nitrógeno total, mientras que, el pH, CE, humedad una correlación moderada a baja, estadísticamente no existe diferencias significativas entre la altitud y uso de suelo con la respiración (Pauca y Velastegui, 2019, pp. 1-50).

Millán et al. (2019, pp. 1-11), “Efectos de cuatro tipos de vegetación sobre la respiración del suelo en la Universidad de Sucre”, identifican que, el agua es vital para el desarrollo adecuado de procesos metabólicos de bacterias y raíces como en la desgasificación, además determinan que la humedad, materia orgánica y temperatura limitan la respiración edáfica, por ejemplo, en condiciones naturales-extremas de temperatura la RE es baja, sin embargo, de todas las propiedades físico-químicas analizadas solo la humedad y la MO presentan una relación significativa con la cantidad de  $\text{CO}_2$ .

Moitinho et al. (2015, pp. 127-131) “*On the spatial and temporal dependence of  $\text{CO}_2$  emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum spp.*) production*” en sus resultados determinan que las precipitaciones reducen la respiración edáfica por el ingreso del agua en los poros del suelo liberando  $\text{CO}_2$  a la atmósfera, también descubren que la materia orgánica en conjunto con los organismos/microorganismos (fuente de energía) del suelo se correlaciona con la RE, pero el pH, CEC no se correlaciona al no ser limitantes en la actividad microbiana, por lo tanto, la respiración edáfica se produce por la degradación de la materia orgánica, respiración de organismos y raíces, dependientes de las propiedades físico-químicas.

Salcedo (2017, pp. 12-69), “Tasa anual de respiración edáfica en cuatro usos de suelo en el campus de la Universidad de Sucre – sede Puerta Roja” el presente estudio se desarrolla en los suelos de la Universidad de Sucre, relacionando las propiedades físico-químicas con la respiración edáfica promedio para el suelo con vegetación nativa fue de 61  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$ , 58.7  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$  Hura Crepitas, 55.6  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$  pasto y 61.9  $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$  *Tectona grandis*, valores que se producen por el manejo del suelo y radiación del sol, también mencionan que contenidos altos de MO incrementa la actividad de microorganismos (descomposición) y por ende la RE, además, se identifica que la materia orgánica y humedad son limitantes en la actividad microbiana, la temperatura no se correlaciona con la emisión de  $\text{CO}_2$  al ambiente.

(Ochoa & Urroz (2011, pp. 1-55), “Determinación de la actividad microbiana como indicador biológico en suelos agrícolas del occidente de Nicaragua” la investigación se desarrolló en suelos agrícolas con el fin de evaluar el estado de los suelos, en función de salud, actividad de los microorganismos (respiración edáfica) y parámetros físico-químicos en suelos, identificando que, a mayor contenido de materia orgánica menor descomposición debido a la acumulación de sustratos orgánicos, el pH no se correlaciona con la RE porque los microorganismos se acoplan a cambios en la acidez o basicidad del suelo, la textura (Franca) contribuye directamente con la RE.

Merchán (2020, pp. 7-14), “Estimación del flujo de CO<sub>2</sub> bajo diferentes coberturas en dos áreas del Complejo de páramos de Chingaza” el presente estudio se desarrolló en el páramo de Chingaza – Colombia donde los suelos predominantes son andisoles, inceptisoles y entisoles, en el cual se relaciona el flujo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con respecto a las propiedades físicas – químicas a dos profundidades 0-10 cm y 10 – 20 cm en sectores intervenidos y no intervenidos , obteniendo de esta manera que, a mayor profundidad, mayor densidad, mayor %MO, menor contenido CO, además se evidencia que la RE posee una relación significativa con temperatura, humedad, densidad aparente (correlación positiva), %CO, %MO (correlación negativa), finalmente el páramo presenta humedad del 80%.

En el “Programa Nacional de Reforestación con Fines de Conservación Ambiental, Protección de Cuencas Hidrográficas y Beneficios Alternos”, se habla sobre la indiscriminada deforestación, y pérdida de ecosistemas en suelos natural, América Latina en los último 30 años ha deforestado 2 millones de kilómetros cuadrados siendo la agricultura el responsable del 70%, Ecuador crea el Programa Nacional de Reforestación Forestal con la finalidad de restaurar la cobertura vegetal de zonas degradadas producto del cambio de bosques nativos por actividades agrícolas - ganaderas emitiendo gases de efecto invernadero (11% de CO<sub>2</sub>), y alterando los ciclos de los nutrientes (Ministerio del Ambiente, 2014, pp. 2- 60).

## ***1.2. Bases teóricas***

### ***1.2.1. Cambio climático***

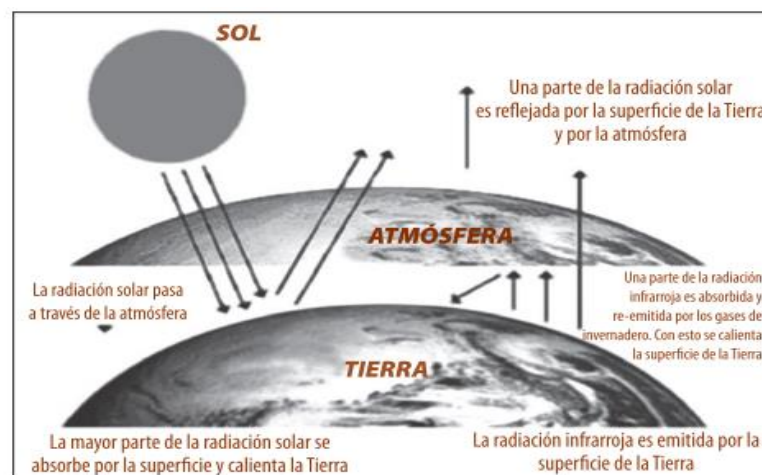
A partir del año 1750 se evidencia que el planeta comienza a calentarse y a través de los años sigue esta tendencia, a causa de los denominados gases de efecto invernadero (GEI), que son provocados por la actividad del ser humano, en especial por el alto consumo del petróleo, carbón y gas natural, que generan dióxido de carbono (Becerra y Mance, 1904, p.10).

Miller (2007) citado por Common y Stagl (2012, p.230 ), menciona que el cambio climático se refiere a cualquier alteración que se da en el clima, ya sea la temperatura, precipitaciones, nivel del mar, deshielo, fenómenos extremos (sequías y olas de calor intensas) los mismos que producen graves efectos en la vida del planeta tierra.

### 1.2.2. Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido de nitrógeno, además de estos gases también existen los clorofluorcarbonados (CFC), perfluorocarbonados (PFC), hidrofluorcarbonados (HFC), el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) y que han ido en aumento desde la época industrial (Lefevre et al., 2017, p. 14).

El papel que desempeñan los gases es absorber la radiación producida por la tierra y enviar en todas las direcciones, por lo tanto, a mayor índice de dióxido de carbono y gases existirá mayor aumento de temperatura produciendo el calentamiento de la atmósfera, océano, disminución de nieve, aumento del nivel mar, fuertes precipitaciones y sequías (Becerra y Mance, 1904, p.10).



**Figura 1-1.** Efecto Invernadero

Fuente:(Becerra y Mance, 1904, p.10).

### 1.2.3. Dióxido de Carbono

Las principales fuentes de emisión de Dióxido de carbono provienen de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas, representados como los 2/3 de emisiones, y el restante 1/3 proviene del manejo del suelo (deforestación, labranza). Del cual aproximadamente el 45% se impregna en la atmósfera, 30% es reabsorbido por los océanos, el 25% se queda en la tierra y vegetación (sumideros de carbono o absorbentes de dióxido de carbono) (Zuleta et al., 2018, p.5).

### 1.2.4. Páramos

Hofstede et al. (2003, p.17-30), mencionan que el páramo puede ser definido como un paisaje, un bioma, una área geográfica, una zona de vida, un símbolo, hasta considerado un estado de clima y sobre todo como un ecosistema natural que esta entre el límite del bosque cerrado y la nieve perpetua en los tropicales húmedos. La función primordial es la recolección, regulación,

preservación y suministro de agua (Groot et al., 2002, pp. 393-408). También son sumideros de carbono que almacenan seis veces más C que los bosques tropicales (Andrade y Yépez, 2014, p. 60).

Este ecosistema se distribuye desde Venezuela hasta el norte de Perú, y parches entre Costa Rica y Panamá” Wouter Buytaert *et al.* (2006) citado por Chunchu (2019, pp. 73). “El 6.7% y 5.7 % de plantas endémicas y especies de vertebrados respectivamente del mundo se observan en el gradiente montañoso, que se extiende entre 3000 a 3500 m s.n.m. (subpáramo) y debajo de los glaciares (4500 – 5000 m s.n.m.) (superpáramo o subnival)” (Llambí et al., 2012, pp.13-20).

#### *1.2.4.1. Páramos en Ecuador*

Algunas características de los páramos en Ecuador es la lluvia delicada y continua que se produce en estos lugares, alta vegetación, elevada irradiación ultravioleta, humedad elevada, temperaturas en descenso, destacando que Ecuador tiene un territorio pequeño sin embargo alberga una alta variedad biológica y ambiental en comparación con otros países de grandes extensiones de territorio (Hofstede et al., 2003, p.90).

Según Carrillo et al. (2019) citado por Chunchu (2019, pp. 73), mencionan que los páramos de Ecuador tienen una altitud media de 3.300 m.s.n.m., y engloba el 7 % del territorio. Diagnosticaron que cerca de 500.000 personas utilizan los páramos de manera directa (abastecimiento de agua de riego y potable) e indirecta indica Medina (2000) citado por (Hofstede et al., 2003, p.93).

#### *1.2.4.2. Páramos en Chimborazo*

La provincia de Chimborazo cubre las 648.124 hectáreas, del cual el 48% de este territorio se ha modificado por las actividades humanas, urbanización entre otras acciones y las mismas que incluso han llegado a afectar áreas por encima de los 3.400 msnm (Chunchu Morocho y Chunchu, 2019, p. 45).

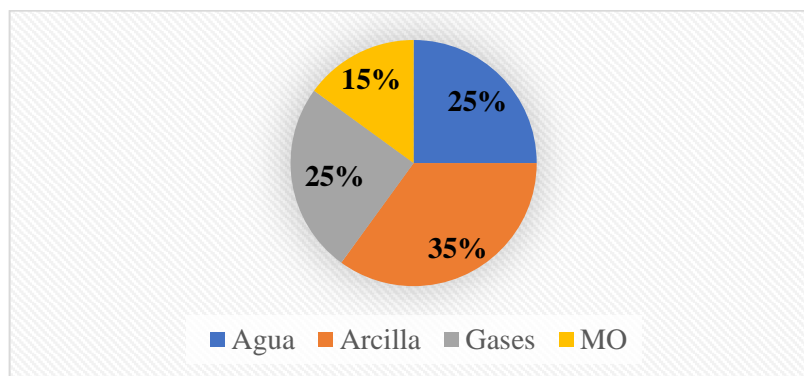
También son generadores de agua de tres cuencas hidrográficas (río Guayas, río Santiago y río Pastaza) para la utilización en riego y electricidad a nivel nacional, los sistemas ecológicos ligados al páramo cubren un área de 406.187 hectáreas de la provincia de Chimborazo (62,7%). Reconociendo que el 60% de la población de la provincia de Chimborazo vive en espacios rurales junto a los páramos, cuya población autóctona está considerada como una de las más pobres del país COMUNIDEC (2008) citado por (Chunchu Morocho y Chunchu, 2019, p. 45).



### 1.2.5. Suelo

El suelo para Weii (2000) citado por (Pereira et al. 2011, p.17), es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), gases y líquidos, se caracteriza por tener diferentes horizontes que permiten diferenciarlos unos de otros, también se encuentran en continuo cambio y que tiene interacciones con la atmósfera y sustratos, los factores que intervienen para su formación son el clima, relieve, microorganismos, tiempo y material parental.

Hillel (1998) citado por Jaramillo (2002, p.22), también menciona el relevante papel que desempeña el suelo en la parte ambiental como reactor bio-físico-químico que transforma componentes de desecho y con ello recicla en el mismo elementos nutritivos para la renovación continua de la vida en la Tierra.



**Gráfico 1-1.** Composición del suelo

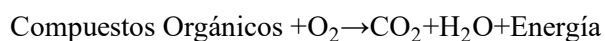
Fuente: (Jaramillo 2002, p. 22).

### 1.2.6. Actividad microbiana

Los microorganismos juegan un papel importante porque se encargan la de degradación de materia orgánica y conforman el reservorio lábil de C,N y P (Díaz et al., 1993, p.25).Además la actividad microbiana desde el punto de vista agronómico es importante porque recicla los nutrientes que provienen de la materia orgánica, por ende contribuye al desarrollo de las plantas e intenta sustituir el uso de los fertilizantes industriales (Anzueto y Álvarez, 2004, p. 14).

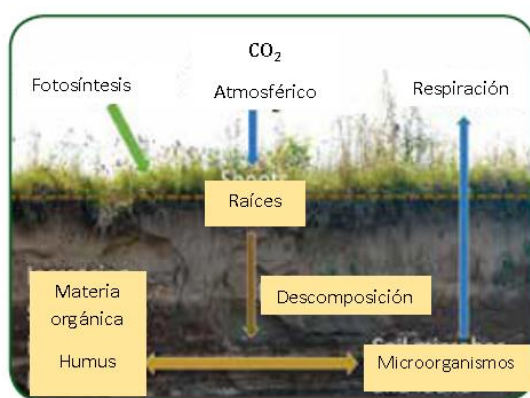
### 1.2.7. Respiración del suelo

La respiración según Hinostrza et al. ( 2013, p. 18) y Moebius et al. (2016, p. 52) es un método ampliamente utilizado para la cuantificación de la actividad microbiana, “este tipo de respiración consiste en una serie de reacciones rédox en el que los compuestos orgánicos son oxidados, produciendo CO<sub>2</sub>, agua y energía” (Nájera et al., 2018, p.67).



Moreira y Siqueira (2002, p. 18), mencionan que la respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente, está fuertemente afectada por condiciones de humedad y temperatura. El flujo de dióxido de carbono dependerá del tipo de uso del suelo e intensidad de manejo (Covaleda et al., 2009, p. 125).

La respiración edáfica se cuantifica mediante la medición de dióxido de carbono, que es expulsado por la muestra húmeda en el proceso de secado, cuando la muestra se encuentra en un envase sellado herméticamente alrededor de 4 días. Una mayor liberación de dióxido de carbono es sinónimo de una alta comunidad microbiana ” (Moebius et al., 2016, p. 52) .



**Figura 2-1.** Funcionamiento del suelo

Fuente: (Moebius et al., 2016, p. 52).

## 1.2.8. Factores que afectan la respiración del suelo

### 1.2.8.1. Temperatura

Según Thamdrup et al. (1998) citado por Krebs, (2003, p. 32) y Nájera et al., (2018, p.68) menciona que la temperatura es un factor determinante en el monitoreo del crecimiento microbial y varía dependiendo la estación del año ( invierno disminución de  $\text{CO}_2$  y en meses cálidos aumento), fuentes de calor (radiación solar y del universo), alteraciones de estructura, concentración de humedad , porosidad, color , densidad, textura, contenido de materia orgánica y contenido de agua Rodríguez (2004) citado por Ordoñez (2013, p. 8).

### 1.2.8.2. Humedad

La humedad del suelo es la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo, se determina como la proporción del volumen total del suelo, se expresa en unidades de kg/kg y

depende de la profundidad, vegetación, clima, condiciones y características del perfil del suelo (Maja et al., 2021, p. 101-118).

Flores & Alcalá (2010) citado por Nájera et al. (2018, p.68) menciona que la respiración se eleva cuando la humedad del suelo se encuentra entre 50 y 70%, con proporciones menores al 30% indica baja actividad microbológica, también (Luoy Zhou) citado por Ochoa (2015, p. 9), indica que un contenido alto de agua puede producir problemas de transporte, menor difusión de oxígeno hacia el interior de las partículas del suelo, reducir la actividad de algunos organismos edáficos y acrecentar las emisiones de metano.

### ***1.2.9. Métodos para la cuantificación de respiración del suelo***

#### *1.2.9.1. Titulación Química*

Es una de las técnicas más utilizadas y sencillas, se basa en incubar la muestra con el álcali, en esta fase se da la reacción del dióxido de carbono con el cloruro de bario e hidróxido de sodio, luego es titulado con ácido clorhídrico para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado y finalmente mediante la ecuación se determina los mg de dióxido de carbono por Kg de suelo (Haney et al., 2008, p. 172).

#### *1.2.9.2. Gel de solvita*

Es una herramienta nueva que evalúa la tasa de respiración microbiana del suelo, con la ventaja del no manejo de reactivos estandarizados, por lo tanto es un método rentable y eficaz (Haney et al., 2008, p. 172).

#### *1.2.9.3. Cromatografía de gases*

Es un método que utiliza cromatografía de gases para detectar el dióxido de carbono, se basa en transportar el gas producto de la respiración desde el área de trabajo en un envase de vidrio hasta su análisis, para el proceso de toma de muestras es esencial tener tapas oscuras con el fin de suprimir la adhesión de CO<sub>2</sub>, las cuales también deben estar provistas de septos (Cadena, 2016, p.36).

### 1.2.10. Propiedades químicas del suelo

#### 1.2.10.1. pH

El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrógeno, es un parámetro que influye en el desarrollo del cultivo (elementos nutritivos, microorganismos, humificación, mineralización, absorción), por lo tanto un suelo con pH ácido tiende a reducir la actividad microbiana, el pH básico tiene gran cantidad de bases lo que provoca problemas de impermeabilidad, el pH óptimo para que el cultivo se desarrolle y asimile correctamente sus nutrientes es el neutro (Martínez & Andrades, 1972, p. 78).

**Tabla 1-1.** Clasificación de pH respecto al suelo

pH de solución del suelo	Clasificación
<5.5	Muy Ácido
5.6 – 6.5	Ácido
5.1-5.5	Suelo fuertemente ácido
6.6-7.5	Neutro
7.6-8.5	Básico
>8.6	Alcalino

Fuente: Gaviria et al., 1972.

#### 1.2.10.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es aquella que mide la capacidad que tiene un objeto para transportar la corriente eléctrica, cuando la conductividad eléctrica es alta indica que existe mayor concentración de sales, lo que producirá fitotoxicidad en el cultivo por lo tanto se recomienda que la conductividad eléctrica sea baja para facilitar el manejo del cultivo (Bárbaro et al., 2005, p. 7). La concentración de salinidad de un suelo se incrementa por la aparición de ciertos cationes como Na, Ca, K y Mg, también aniones como los  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$  y  $\text{HCO}_3^-$  (Gaviria O. et al., 1972, p. 18).

**Tabla 2-1.** Conductividad Eléctrica

CEe (ds/m)	CE (dS/m)	Clasificación
<2	<0.35	No salino
2-4	0.35-0.65	Ligeramente salino
4-8	0.65-1.15	Salino
>8	>15	Muy salino

Fuente: Gaviria et al., 1972

### **1.2.11. Propiedades físicas del suelo**

#### **1.2.11.1. Densidad aparente**

La densidad aparente mide la porosidad total de suelo es por ello que, se define como la masa de una unidad de volumen (involucra tanto a los sólidos como los poros) del suelo seco ( $105^{\circ}$ ), valores bajos de densidad (menores a  $1,3 \text{ Kg dm}^{-3}$ ) indican que el suelo es poroso y valores altos representan un ambiente inadecuado para el desarrollo de raíces, baja aireación y disminución de la filtración del agua, por lo tanto la densidad dentro del ecosistema y calidad del suelo tiene un rol importante e indispensable (Vargas, 2009, p. 51).

#### **1.2.11.2. Textura**

La textura muestra el contenido que tienen las partículas de distinto tamaño (limo, arcilla y arena) en el espacio físico, tiene relación directa con el aire y agua que ingresan y traspasan el suelo, lo que indica la facilidad de manejo de suelo (Blanquer et al., 2015, p 39).

Según la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América) las partículas se clasifican en:

**Tabla 3-1. Clasificación de la Textura**

<b>Clasificación Americana (USDA)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
Arena muy gruesa	$2 \text{ mm} > \varnothing > >1 \text{ mm}$
Arena gruesa	$1 \text{ mm} > \varnothing > 0.5 \text{ mm}$
Arena media	$0.5 \text{ mm} > \varnothing > 0.25 \text{ mm}$
Arena fina	$0.25 \text{ mm} > \varnothing > 0.10 \text{ mm}$
Arena muy fina	$0.10 \text{ mm} > \varnothing > 0.05 \text{ mm}$
Limo	$0.05 \text{ mm} > \varnothing > 0.002 \text{ mm}$
Arcilla	$< 0.002 \text{ mm}$

Fuente: USDA., 1999.

### **1.2.12. Materia Orgánica del suelo**

La materia orgánica está integrada en general, por compuestos de origen vegetal y animal que se hallan en: descomposición, ligeramente en descomposición e intactas, mediante el color y textura del suelo sea seco o húmedo se puede detectar el contenido de materia orgánica, esta valoración se basa en la presunción del color del suelo (valor), debido a la mezcla de sustancias orgánicas de color oscuro y minerales de color claro (Vargas, 2009, p.44).

Esta consideración no funciona en suelos de regiones secas porque sobrevalora el contenido de materia orgánica y en regiones tropicales subvalora el contenido de materia orgánica, por lo tanto siempre debe ser comprobado el valor de la MO (Vargas, 2009, p.44).

**Tabla 4-1.** Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo de la tabla de Munsell.

Color	Valor Munsell	Suelo húmedo			Suelo seco		
		A	AF,FA,F	FL,L,FYL,F Y,FYA,YA, YL,Y	A	AF,FA,F	FL,L,FYL,F Y, FYA, YA, YL,Y
(%)							
Gris claro	7				<0.3	<0.5	<0.6
Gris claro	6.5				0.3-0.6	0.5-0.8	0.6-1.2
Gris	6				0.6-1	0.8-1.2	1.2-2
Gris	5.5			<0.3	1-1.5	1.2-2	2-3
Gris	5	<0.3	<0.4	0.3-0.6	1.5-2	2-4	3-4
Gris oscuro	4.5	0.3-0.6	0.4-0.6	0.6-0.9	2-3	4-6	4-6
Gris oscuro	4	0.6-0.9	0.6-1	0.9-1.5	3-5	6-9	6-9
Gris negro	3.5	0.9-1.5	1-2	1.5-3	5-8	9-15	9-15
Gris negro	3	1.5-3	2-4	3-5	8-12	>15	>15
Negro	2.5	3-6	>4	>5	>12		
Negro	2	>6					

Fuente: Shliching, Blume y Stahr (1995).

### 1.2.13. Carbono orgánico

El carbono orgánico del suelo es un componente importante dentro del ciclo global del Carbono, ocupando un 69,8 % del C, se lo suele clasificar de acuerdo a la función de sumideros como sumidero activo (1-2 años), sumidero intermedio (10-100 años) y sumidero estable (10-1000 años) el cual contribuye de manera eficiente a la retención de nutrientes y ser excelente en la captación de carbono a largos periodos (Laban et al., 2018, p.3).

También es considerado uno de los componentes fundamentales dentro de la productividad, seguridad hídrica, considerada también como piedra angular de la biodiversidad en cuanto a la resiliencia del cambio climático, las mayores reservas de carbono orgánico del suelo se hallan en áreas como turberas y humedales, que se localizan en mayor cantidad en regiones frías y tropicales (Laban et al., 2018, p.6).

### **1.3. Bases conceptuales**

#### **1.3.1. Páramo andino ecuatoriano**

En Ecuador, los páramos se distribuyen a lo largo de 16 provincias con un área de 1 835 834 hectáreas, correspondiente al 7% de la nación, del cual, tan solo el 30% de la superficie natural de este ecosistema se conserva, el suelo que predomina son los Andisoles, se ubican por encima de los bosques nubosos (altoandinos) y se elevan hasta las nieves perpetuas, poseen un clima frío en promedio 10 °C, pero a lo largo del día puede variar, la humedad relativa (65% o el 100%.) es dependiente de las estaciones del año (Lopez, 2012, pp. 19-21).

El Páramo de Igualata conocido también como nudo de Igualata - Sanancajas se encuentra en la cordillera occidental, provincia de Chimborazo (Cruz, 2020, p. 40). Posee una superficie de 215 hectáreas con una altitud de 3800 m.s.n.m hasta 4169 m.s.n.m (Guano, 2021, p. 1).

#### **1.3.2. Suelo**

El suelo del páramo Igualata es un poco difícil definirlo dado que, depende del punto de vista particular, para un agricultor es donde se desarrolla las plantas para el sustento de su vida (Maja et al., 2021, p. 4). En la ciencia es un ecosistema natural o medio de vida que dispone de minerales, compuestos orgánico e inorgánicos, afectado por el clima frío, material proveniente de cenizas volcánicas, macro-microorganismos y el relieve, sin embargo, el suelo de los páramos cambia no solo por las acciones humanas sino también por el paso del tiempo (Maja et al., 2021, p. 4).

#### **1.3.3. Respiración edáfica de los páramos**

La respiración edáfica llamada también mineralización, es la liberación del CO<sub>2</sub> de todos los organismos vivos que habitan en el suelo de los páramos (bacterias, hongos, lombrices, raíces, etc.), dependiente de los nutrientes disponibles, biomasa, propiedades del ecosistema y diversidad microbiana (Moorberg y Crouse, 2017, p. 87). Los páramos por su altitud poseen poca disponibilidad de oxígeno, por lo tanto, la respiración edáfica es más lenta, por consecuencia, el carbono orgánico se conserva (Maja et al., 2021, p. 72-73).

#### **1.3.4. Microorganismos**

Los microorganismos en el suelo realizan la solubilización de nutrientes, fijación de nitrógeno, producción de enzimas, control del ciclo de los nutrientes, estructura, descontaminación y regulación de agua y aire (Mora et al., 2007, pp. 20-22). La respiración heterótrofa que realizan los

microorganismos es producto de la descomposición de la materia orgánica del suelo, su importancia radica para comprender el ciclo del carbono (Jandl y Rodeghiero, 2017, pp. 10-97).

#### ***1.3.5. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)***

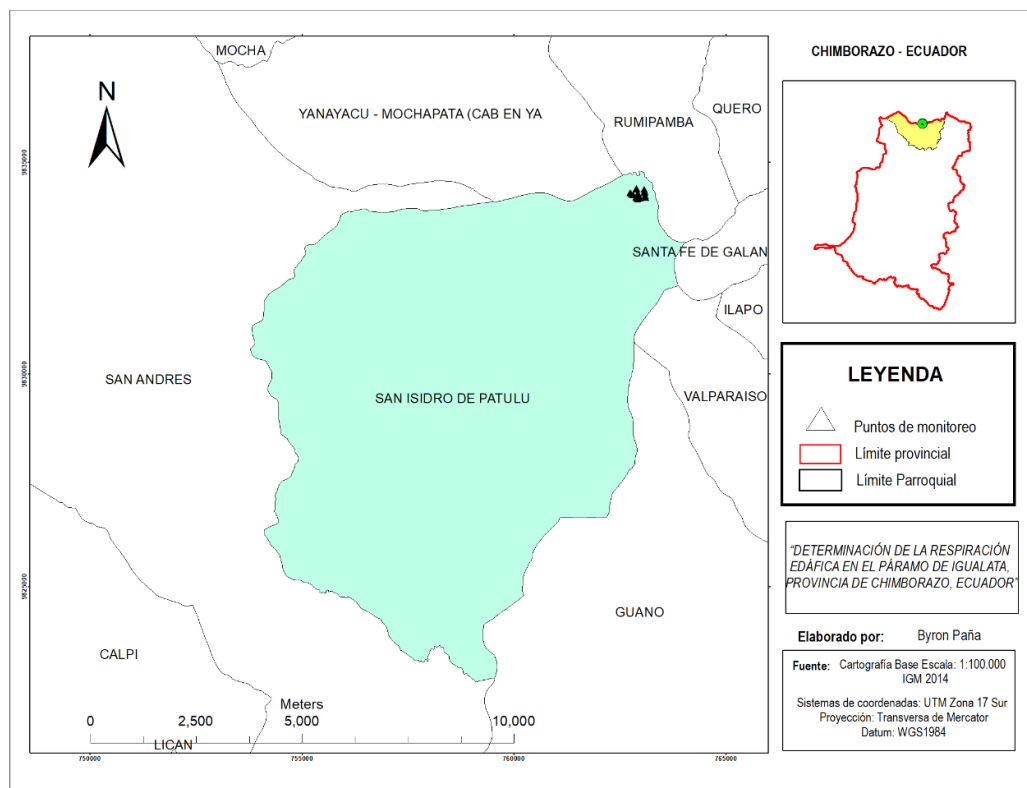
El dióxido de carbono es un gas generado en concentraciones altas por actividades humanas, también por erupciones volcánicas, descomposición microbiana, respiración animal y vegetal, de esta manera es el principal gas de efecto invernadero. Los poros del suelo al estar en contacto con el ambiente retienen aire edáfico, de esta manera, se incrementa la liberación de dióxido de carbono de los suelos, al disminuir la concentración de oxígeno de la atmósfera (Muñoz et al., 2019, pp. 361-362).



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Área de estudio



**Figura 1-2.** Mapa del área de estudio del páramo de Igualata

**Fuente:** (IGM, 2014).

**Realizado por:** Paña Byron, 2022-GIDAC.

La presente investigación se llevó a cabo en el páramo de Igualata ubicado en la parte sur del cantón Quero en el límite provincial Tungurahua – Chimborazo a 35km de la ciudad de Riobamba.

Según el acuerdo 079 PRCP de conservación del ministerio del ambiente en convenio con el consejo provincial del Programa Nacional de Reforestación con Fines de Conservación Ambiental, Protección de Cuencas Hidrográficas y Beneficios Alternos, mismo que fue aprobado el 26 de febrero del 2014, teniendo como beneficiarios los pobladores de la comunidad Pichán Central de la parroquia San Isidro de Patulú de la Provincia de Chimborazo, cuya superficie de área de estudio es de 20,24 ha en la modalidad generación natural asistida (MAE, 2014, p. 89).

## **2.2. Población y muestra**

### **2.2.1. Población**

El área en la cual se realizó los análisis del ecosistema herbazal de páramos consta de una superficie total de 20,24 ha, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

### **2.2.2. Tamaño de la muestra**

Para la identificación de los 15 puntos de muestreo se tomó como referencia el artículo Análisis del Ecosistema páramo de Igualata frente al cambio climático en base a los recursos naturales (Carrasco et al., 2016). De esta manera se validó los resultados actuales de las variables indicadas.

## **2.3. Tipo y diseño de la investigación**

### **2.3.1. Tipo de Investigación**

La investigación fue de carácter cuantitativo porque los datos son valores numéricos obtenidos mediante análisis de correlación entre la respiración edáfica y los factores fisicoquímicos del suelo. De acuerdo al objetivo de la investigación fue de tipo aplicada debido a que los datos de respiración edáfica y propiedades fisicoquímicas del suelo son deducidos a partir de conocimientos teóricos prácticos.

Según la manipulación de variables, el estudio fue de tipo cuasiexperimental, dado que se experimentó la variable dependiente (respiración edáfica) para observar su efecto sobre la variable independiente (propiedades físico-químicas de distintos usos de los suelos del páramo del Igualata). Según el nivel de profundización, esta investigación fue de tipo explicativa debido a que se va a interpretar como incide la respiración edáfica en relación con los diferentes parámetros químicos en el flujo de carbono de la zona.

### **2.3.2. Variables**

Variable independiente

- Propiedades físico-químicas de distintos usos de los suelos del páramo del Igualata.

Variable dependiente

- Respiración edáfica del suelo de páramo de Igualata.

### 2.3.3. *Diseño de la investigación*

#### 2.3.3.1. *Diseño experimental*

El diseño experimental característico de la investigación fue el diseño cuasiexperimental debido a que se va a experimentar las variables dependientes (respiración edáfica para observar su efecto sobre la variable independiente (propiedades físico-químicas de distintos usos de los suelos del páramo del Igualata).

El estudio utilizó un modelo de regresión lineal múltiple con los promedios obtenidos de las variables para generar el modelo de regresión con respiración edáfica como variable respuesta y altitudes y estratos como variables predictoras, para posteriormente con un análisis de varianza ANOVA de un solo factor para verificar si estas variables son o no significativas, y si influyen o no para la variable respiración.

Se realizó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar las correlaciones que puedan existir de la respiración edáfica y las propiedades físico-químicas. Además, se elaboró un análisis de regresión múltiple mediante el estadístico t de estudiante para determinar las variables significativas.

#### 2.3.4. *Selección de la muestra*

Se seleccionaron 15 puntos de muestreo 3 por altitud, que se encuentran en un rango altitudinal de 4083 m.s.n.m a los 4143 m.s.n.m.

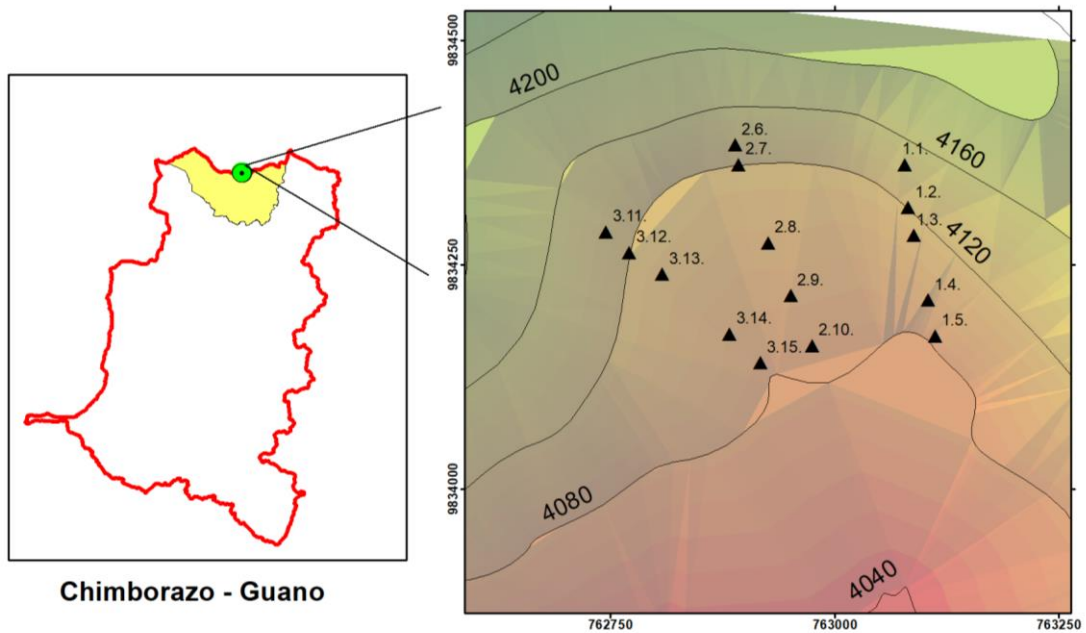
### **Coordenadas Geográficas**

**Tabla 1-2.** Puntos de muestreo

Punto de muestreo (Parcelas)	Altitud (m.s.n.m)	Coordenadas UTM	
		X	Y
1	4143,37	763078	9834361
2	4120,45	763082	9834313
3	4113,64	763088	9834282
4	4096,12	763104	9834210
5	4083,97	763112	9834170
6	4133,63	762889	9834383
7	4119,98	762893	9834361

8	4104,81	762926	9834274
9	4094,88	762951	9834215
10	4083,55	762975	9834159
11	4133,69	762745	9834286
12	4120,40	762771	9834263
13	4112,10	762808	9834239
14	4093,01	762883	9834172
15	4083,94	762917	9834140

Fuente: (Carrasco et al., 2016).



**Figura 2-2.** Mapa del área de estudio del páramo de Iguatala.

Fuente: (IGM, 2014).

Realizado por: Paña Byron, 2022-GIDAC.

## 2.4. Materiales y Equipos

### 2.4.1. Materiales

- Varillas de agitación
- Tarrinas de aluminio
- Tarrinas de plástico
- Crisoles de porcelana
- Desecador
- Espátula
- Papel de empaque

- Mortero y pistilo
- Barreno
- Hoyadora
- Fundas Ziploc
- Fundas de halar grandes
- Plástico adhesivo transparente
- Cilindros de acero inoxidable
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Frascos de vidrio transparentes con tapa.
- Bureta
- Pipeta
- Pera de Succión
- Pinzas de laboratorio
- Soporte universal
- Agua destilada
- Papel Filtro

#### **2.4.2. Equipos**

- GPS Garmín 62X
- Balanza Gramera
- Balanza analítica
- Potenciómetro
- Conductímetro
- Estufa
- Horno mufla
- Reverbero

### **2.5. Métodos y técnicas**

#### **2.5.1. Fase de campo**

La fase de campo consistió en ubicar el lugar de muestreo mediante la utilización de un GPS, el mismo que permite identificar la posición exacta del transepto y de sus correspondientes puntos, una vez ubicados empezamos con la toma de muestra de suelo (Fuentes , 1971, p.33).

### a. Suelo

- La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, ya que de esta manera todos los individuos que componen la población de estudio tienen la misma posibilidad de ser incluidos en la muestra (Otzen y Manterola, 2017, pp. 227-232).
- La extracción de la muestra aplicó la técnica de barrenación, el cual se basa en introducir y presionar el barreno hasta llegar a las profundidades requeridas de la toma de muestra de suelo 0-0.15 cm (respiración edáfica), 0-0.30 cm y 0.30-0.60 cm (carbono orgánico y propiedades físico-químicas) (Schweizer, 2011, p. 13).
- Se recolectó la muestra de los 15 puntos que representan los 3 transectos, separados 10 m de distancia en forma creciente, empezando desde los 4090 m.s.n.m. hasta los 4130 m.s.n.m., considerando que la muestra de suelo recolectada debe ser homogénea (extremos y centro), luego la muestra se colocó en fundas ziploc para evitar la pérdida de dióxido de carbono por evaporación (Schweizer, 2011, p. 13).



**Figura 3-2.** Recolección de la muestra del suelo

Realizado por: Paña Byron, 2022.

### 2.5.2. Fase de laboratorio

Luego de pasar la fase de campo, las muestras fueron llevadas inmediatamente a laboratorio para proceder con los análisis físico-químicos, estipulados por el grupo de investigación GIDAC.

#### 2.5.2.1. pH y conductividad eléctrica

- El método utilizado para el análisis del pH y conductividad eléctrica es el potenciómetro.

- Se pesaron 20 gramos de suelo en un vaso de plástico (etiquetado), luego se agregó 45 ml agua destilada.
- Luego se debe mover (muestra + agua) por 15 minutos con la varilla de agitación y dejar en momento estático por 5 minutos.
- Inmediatamente se empieza a medir el pH y después de 24 horas la conductividad eléctrica (Zagal, 2007, p. 5).



**Figura 4-2.** Medición de pH y CE

**Realizado por:** Paña Byron, 2022.

#### 2.5.2.2. *Densidad y Humedad*

El método utilizado para la determinación de la densidad es el cilindro con volumen conocido, el cual se basó en el siguiente procedimiento:

- Se tomó la muestra de suelo en el cilindro e inmediatamente se llevó a laboratorio y se pesó (muestra de suelo húmedo + cilindro) en la balanza analítica.
- Una vez pesada la muestra se colocó en la estufa a 105 °C durante 24 horas.
- Luego se pesó nuevamente las muestras y se registró en la base de datos.
- Después mediante la fórmula se calculó la densidad aparente (Gómez, 2013, p. 40).

$$Da\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{P_s}{V} \quad (2)$$

Dónde:

Da= Densidad Aparente

Ms= Masa de suelo en seco (g)

V= Volumen del cilindro conocido

- El mismo proceso se sigue para la determinación de humedad , tan solo difiere en su respectivo calculo (Flores, 2010).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_h - P_s}{P_h} \times 100$$



**Figura 5-2.** Recolección del suelo para determinar densidad

**Realizado por:** Paña Byron, 2022.

#### 2.5.5.3. *Textura*

Para identificar la textura del suelo mediante el tacto se debe realizar algunos pasos:

- Tomar una pequeña porción de suelo en la palma de la mano y adicionar gotas de agua hasta que adquiera una consistencia moldeable, si la masa está demasiado húmeda, colocar suelo seco.
- Luego con ayuda de la mano, comenzar con la manipulación e identificar el tipo de suelo que predomina, si no se forma la cinta se obtendrá un suelo Areno Francosa, cinta pequeña de menos de 2,5 cm, con sensación de suelo muy arenoso es un suelo Franco Arenoso, si no se siente el suelo muy suave se obtendrá un suelo Franco Limoso y con sensación de ni muy grueso ni muy suave será un suelo Franco.
- Finalizando con el proceso de identificación de textura de suelo se registran los datos.

#### 2.5.5.4. *Materia Orgánica y Carbono Orgánico*

- El suelo se secó en papel de empaque alrededor de 3 días, en este tiempo se extrae raíces, materia orgánica e inorgánica.



- Seco el suelo se procedió a fraccionar por medio de un tamiz ordenado de mayor a menor tamaño 2000  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ .
- La materia orgánica fue cuantificada por el método de ignición el cual consistió en tarar los crisoles de porcelana en una mufla a 600°C por 2 horas para prevenir impurezas, al concluir se llevó al desecador de vidrio, una vez frio el crisol, se pesa en la balanza analítica obteniendo el peso uno “ $P_1$ ”
- Se tara la balanza analítica y se pesa 5 g de suelo de la fracción de 250  $\mu\text{m}$  en el crisol, el resultado corresponde al peso dos “ $P_2$ ”
- El crisol con la muestra de suelo fue llevado en el desecador, hacia la estufa a permanezca por 24 horas a 105 °C, finalizado el tiempo se considera que el agua higroscópica del suelo fue eliminada, seguidamente con ayuda del desecador el crisol fue pesado obteniendo el peso tres “ $P_3$ ”.
- El peso cuatro “ $P_4$ ” se alcanza al llevar el crisol que sale de la estufa a la mufla por 2 horas a 360 °C, donde el suelo (materia orgánica) fue calcinado, tomando en cuenta que no se volatiliza el  $\text{CO}_2$  de carbonatos ni el agua estructural, nuevamente se coloca en el desecador y se pesa (Chatterjee et al., 2009, pp. 164-178).



**Figura 6-2.** Crisoles en el desecador

Realizado por: Paña Byron, 2022.

La siguiente ecuación se utilizó para obtener el porcentaje de materia orgánica del suelo

$$\%MO = \frac{(P_3 - P_4)}{(P_3 - P_1)} \times 100 \quad (4)$$

Donde,

$P_1$ : Peso del crisol tarado

$P_3$ : Peso del crisol más la muestra después de la estufa

$P_4$ : Peso del crisol más la muestra después de la mufla a 360 °C

El carbono orgánico es estimado a partir de la materia orgánica a través del factor de Van Bemmelen (Tabatabai,1996 citado en Eyherabide et al., 2014, pp. 13-19). Como se muestra en la siguiente ecuación

$$\%CO = \frac{\%MO}{1.724} \quad (5)$$

Donde,

$\%MO$ : Porcentaje de materia orgánica

1.724: Constante de Van Bemmelen



**Figura 7-2.** Extracción de crisoles

Realizado por: Paña Byron, 2022.

#### 2.5.5.5. Respiración edáfica

### Preparación de reactivos

#### Solución de hidróxido de sodio (NaOH), 1.0 molar (M)

- En una balanza analítica previamente limpia y calibrada se pesa 39.9969 g de NaOH.
- El NaOH se diluye en un vaso de precipitación, después esta disolución se coloca en un balón de aforo de un litro (L).
- Con agua destilada se ajusta el menisco de manera exacta hasta el aforo.
- Finalmente, mezclar bien la solución y almacenar en una botella ámbar (Bloem et al,2006, p. 121).

### **Solución de cloruro de bario ( $\text{BaCl}_2$ ), 0.05 molar (M)**

- Se pesa 10.41 g de  $\text{BaCl}_2$  de concentración pura, en una balanza analítica con la ayuda de un vidrio reloj y espátula.
- El  $\text{BaCl}_2$  previamente diluido con agua destilada se coloca en un matraz de aforo para posteriormente ser aforado con agua destilada
- La solución patrón se mezcla bien y se almacena en una botella ámbar (Alef y Nannipieri, 1995, p. 215-216).

### **Solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), 0.1 molar (M)**

- En una balanza analítica nivelada y limpia se pesa 3.9996 g de  $\text{NaOH}$ .
- El reactivo pesado se disuelve rápidamente en un vaso de precipitación, para luego ser colocado en un matraz aforado de un litro (L).
- Se afora con agua destilada con el fin de obtener la solución patrón.
- Por último, mezclar y conservar en una botella ámbar (Bloem et al, 2006, p. 121).

### **Solución de fenolftaleína (0.1 g/100 ml 60% (v/v) etanol)**

- En una balanza analítica, se pesa 0.1 g de fenolftaleína al 100% de concentración.
- La fenolftaleína se traslada a un matraz de aforo de 100 ml.
- Seguidamente, se afora con etanol a 60 % (v/v) con agitación constante.
- La solución se conserva en una botella ámbar con gotero (Alef y Nannipieri, 1995, p. 215-216).



**Figura 8-2.** Preparación de soluciones

Realizado por: Paña Byron, 2022.

### Solución de ácido clorhídrico (HCl), 0.05 molar (M)

- Con la ayuda de una pipeta graduada se procede a medir 4.16 ml de HCl de concentración conocida con el propósito de preparar 1000 mililitros.
- Se coloca en un balón de aforo de que posea en su interior una pequeña cama de agua destilada.
- Se afora, y la solución se guarda en una botella ámbar (Bloem et al,2006, p. 121).



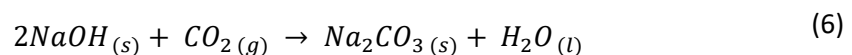
**Figura 9-2.** Solución de HCl

Realizado por: Paña Byron, 2022.

### Principio del método

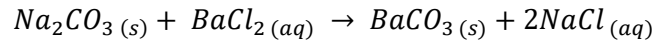
La cuantificación de la respiración edáfica en el suelo se realizó por titulación al ser un método simple, directo y eficaz en la comparación de la actividad microbiana y liberación de CO<sub>2</sub>, el método se fundamenta en la utilización de hidróxido de sodio, cloruro de bario, fenolftaleína y ácido clorhídrico (Haney et al, 2008, p. 2709).

El NaOH es utilizado como índice de la tasa de respiración, la solución alcalina puede absorber el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado de la respiración edáfica del suelo (Guerrero et al, 2012, p. 357). Reacción que se muestra en la siguiente ecuación.



Para determinar la equivalencia entre el NaOH y la cantidad de CO<sub>2</sub>, se precipita el carbonato de sodio con cloruro de bario, para después el remanente ser titulado con ácido clorhídrico en presencia del indicador (Guerrero et al, 2012, p. 357), como se observa en la siguiente ecuación:

(7)



El ácido clorhídrico actúa descomponiendo al carbonato generado con desprendimiento de CO<sub>2</sub> (Burt, 2009, p. 194). Mientras el CO<sub>2</sub> se volatiliza la reacción se fortalece a la derecha, a medida que, la solución posea un exceso de iones hidroxilos (OH<sup>-</sup>) (Bloem et al, 2006, p. 120).

A continuación, se explica la metodología utilizada para la cuantificación de la respiración basal del suelo de páramo Iguatala, tomando en cuenta que se utilizó un frasco sin suelo como blanco para calcular la emisión de CO<sub>2</sub> de los microorganismos presentes en el suelo donde 1 ml de NaOH [0.1M] consumido equivale a 2.2 mg de CO<sub>2</sub> (Babur, 2019, p.97).

## 1. Preincubación

- El papel filtro es cortado de acuerdo a la forma de la base del frasco de vidrio, el cual será colocado al fondo del recipiente.
- Se humedece el papel con agua destilada (libre de CO<sub>2</sub>), sellándolo momentáneamente.
- La solución de NaOH [1M] es colocado en un vaso de precipitación, seguidamente se introduce en el frasco de vidrio anteriormente preparado.
- El suelo libre de materia orgánica visible se pesa en una balanza analítica 40 g y se coloca una vez más dentro del frasco de vidrio previamente preparado, procurando que no exista contacto entre la solución de hidróxido de sodio y el suelo.
- Se sella herméticamente, luego se deja incubar durante 7 días a temperatura ambiente y en un lugar oscuro.

La muestra de suelo en conjunto con el blanco es preincubada con el fin de que los microorganismos alcancen la respiración basal, 7 días es suficiente para la estabilización de los gases que se encuentran dentro del frasco de vidrio (Pitombo et al, 2018, p. 660).

La preincubación del suelo de acuerdo a Bloem et al (2006, p. 119), es indispensable para disminuir la concentración inicial de dióxido de carbono, considerando que toda alteración (física o química) producirá incremento del dióxido de carbono, por ejemplo: Congelación, descongelación, agitación, secado, humedecimiento.

## 2. Incubación

- Finalizada la preincubación, se reemplaza la solución de NaOH [1M] del frasco de vidrio por otro vaso de precipitación que contenga 2ml de NaOH [0.1M].

- Se verifica que el papel filtro se encuentre húmedo con la finalidad de mantener la atmósfera húmeda.
- Por último, se cierra de manera hermética el frasco de vidrio y se lo guarda en un lugar oscuro por 24 horas a temperatura ambiente.

El tiempo de incubación se realiza para estabilizar el dióxido de carbono gaseoso (atmósfera creada artificialmente en el frasco) con el disuelto (solución de NaOH), pero depende de la presencia de compuestos de fácil degradación (C) en el suelo (Schinner et al, 1996, pp. 96-97).



**Figura 10-2.** Preparación del suelo para la incubación

Realizado por: Paña Byron, 2022.

### 3. Medición

- Culminada la incubación, se extrae el vaso de precipitación NaOH [0.1M] del frasco de vidrio con la ayuda de una pinza metálica.
- En el vaso de precipitación se añade 4ml de BaCl<sub>2</sub> [0.05M] y 3 a 4 gotas de fenolftaleína 60% (v/v) con el objetivo de precipitar el carbonato como BaCO<sub>3</sub>, como se muestra en las ecuaciones 6 y 7
- Se titula con HCl [0.05M], tomando como punto final el viraje de color; rosado a transparente.
- Finalmente, el volumen utilizado de ácido clorhídrico es registrado (Alef y Nannipieri, 1995, p. 215-216).



**Figura 11-2.** Adición de fenolftaleína a la solución

Realizado por: Paña Byron, 2022.

#### 4. Cálculo

La respiración edáfica es estimada por la siguiente formula en “ug CO<sub>2</sub>-C/g·hora” (Alef y Nannipieri, 1995, p. 215-216).

$$RE = \frac{Mc * (Vb - Vs) * 0.05}{Sdw * t * 2} 10^3 \quad (8)$$

Donde:

Mc: Peso molar de carbono (12.01 g/mol).

Vb: Volumen consumido en mililitro de 0.05 M de HCL en la titulación del blanco.

Vs: Volumen consumido en mililitro de 0.05 M HCL en la titulación de las muestras.

Sdw: Peso de la muestra de suelo en gramos.

t: Tiempo de incubación en horas.

Factor de 2: Constante.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultado de las propiedades físico-químicas del suelo de páramo de Igualata

**Tabla 1-3.** Resultado de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm.

PARCELA	RA	HUMEDAD (%)	DA g/cm <sup>3</sup>	MO (%)	TEXTURA	pH	CE (μS/cm)	CO (%)
1	R1	34,50	0,94	5,33	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,36	<b>46,93</b>	3,09
2	R2	34,41	1,14	5,52	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,44	33,60	3,20
3	R3	36,29	0,97	5,51	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	<b>6,71</b>	41,03	3,20
4	R4	44,99	0,8	5,42	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,23	29,82	3,15
5	R5	29,92	1,13	4,47	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,27	<b>27,45</b>	2,60
6	R1	47,04	0,83	4,85	FRANCO ARENOSO	6,15	30,83	2,81
7	R2	36,90	0,95	5,39	FRANCO ARENOSO	6,22	41,53	3,13
8	R3	40,10	0,91	<b>8,63</b>	FRANCO ARENOSO	6,32	46,83	<b>5,01</b>
9	R4	<b>47,10</b>	<b>0,74</b>	8,33	FRANCO ARCILLOSO	6,18	44,57	4,83
10	R5	38,42	0,98	<b>4,36</b>	FRANCO ARCILLOSO	6,07	41,13	<b>2,53</b>
11	R1	41,04	0,89	5,67	FRANCO ARCILLOSO	<b>5,79</b>	38,71	3,29
12	R2	32,51	1,03	5,21	FRANCO ARCILLOSO	6,03	28,14	3,02
13	R3	31,87	<b>1,18</b>	5,09	FRANCO ARENOSO	6,16	29,74	2,96
14	R4	<b>25,47</b>	0,76	8,15	FRANCO ARENOSO	6,18	44,00	4,73
15	R5	36,63	1,02	4,59	FRANCO ARENOSO	6,06	-	2,66

*Cursiva* (límite inferior), Subrayado (límite superior), MO: Materia Orgánica, DA: Densidad aparente, CE: Conductividad Eléctrica, CO: Carbono Orgánico, RA: Rango Altitudinal, R1:4130, R2:4120, R3: 4110, R4: 4100, R5:4090.

Realizado por: Paña Byron, 2022-GIDAC.



**Tabla 2-3.** Resultados de las propiedades físico-químicas de los suelos del páramo de Igualata a una profundidad de 30-60 cm.

PARCELA	RA	HUMEDAD (%)	DA g/cm <sup>3</sup>	MO (%)	TEXTURA	pH	CE μS/cm	CO (%)
1	R1	<b>23,03</b>	1,24	2,19	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	<b>6,68</b>	27,67	1,27
2	R2	30,34	1,24	3,11	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,49	20,80	1,80
3	R3	29,02	1,11	4,94	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,20	22,79	2,87
4	R4	27,16	1,04	<b>5,43</b>	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,38	<b>20,72</b>	<b>3,15</b>
5	R5	28,29	1,23	3,92	FRANCO-ARENO-ARCILLOSO	6,11	25,15	2,28
6	R1	37,49	<b>0,87</b>	2,32	FRANCO ARENOSO	6,27	29,69	1,34
7	R2	28,75	0,95	2,48	FRANCO ARENOSO	6,12	27,54	1,44
8	R3	28,41	1,26	2,52	FRANCO ARENOSO	6,44	30,25	1,46
9	R4	26,36	1,30	3,11	FRANCO ARCILLOSO	6,12	<b>37,03</b>	1,81
10	R5	26,31	1,19	3,09	FRANCO ARCILLOSO	6,25	33,41	1,79
11	R1	<b>37,55</b>	1,10	2,52	FRANCO ARCILLOSO	<b>5,97</b>	31,15	1,46
12	R2	27,72	0,95	3,59	FRANCO ARENO ARCILLOSO	6,13	27,25	2,09
13	R3	30,55	1,21	3,28	FRANCO ARENOSO	6,20	32,59	1,90
14	R4	34,35	1,15	1,54	FRANCO ARENOSO	6,24	33,23	0,89
15	R5	31,58	<b>1,39</b>	<b>1,07</b>	FRANCO ARENOSO	6,43	32,10	<b>0,62</b>

*Cursiva* (límite inferior), Subrayado (límite superior), MO: Materia Orgánica, DA: Densidad aparente, CE: Conductividad Eléctrica, CO: Carbono Orgánico, RA: Rango Altitudinal, R1:4130, R2:4120, R3: 4110, R4: 4100, R5:4090.

**Realizado por:** Paña Byron, 2022-GIDAC.

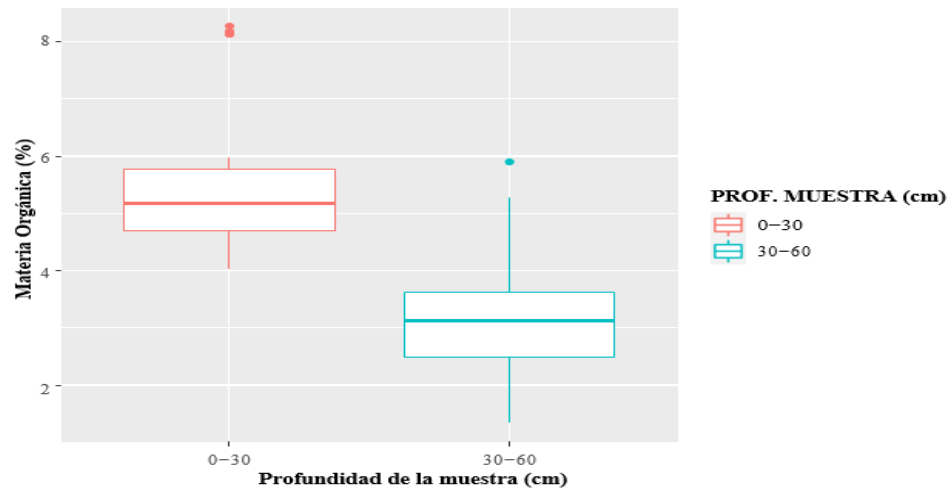
Para establecer la variabilidad de las propiedades físico-químicas de 0-30 cm y 30-60 cm se analizaron las siguientes variables: materia orgánica, carbono orgánico, conductividad eléctrica, textura, pH, humedad y densidad aparente.

### Materia Orgánica

- La determinación de la materia orgánica en la profundidad de 0-30 cm dio un resultado promedio de 5,77 %; con una desviación estándar de 1,41, correspondiente a las 15 parcelas; un valor máximo de 8,63 % determinado en la parcela #8, en el rango altitudinal de 4110

m.s.n.m. y el valor mínimo de 4,36 % ubicada en la parcela 10 en el rango altitudinal 4090 m.s.n.m.

- En cambio, los valores de la materia orgánica a una profundidad 30-60 cm obtuvo un valor promedio de 3,01 %; con una desviación estándar de 1,16, correspondiente a las 15 parcelas; un valor máximo de 5,43 % determinado en la parcela #4, en el rango altitudinal comprendido de 4100 m.s.n.m. y el valor mínimo de 1,07 % ubicada en la parcela #15 en el rango altitudinal 4090 m.s.n.m.

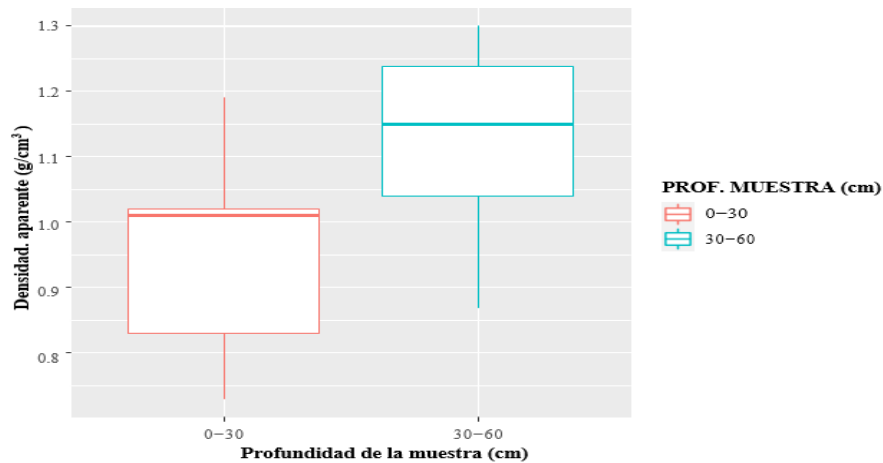


**Gráfico 1-3.** Materia orgánica de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

### Densidad Aparente

- La densidad aparente a una profundidad de 0-30 cm tuvo un promedio de 0,95 g/cm<sup>3</sup> con una desviación estándar de 0,14; siendo el límite superior de 1,18 g/cm<sup>3</sup> ubicada en la parcela 13, en el rango altitudinal 4110 m.s.n.m. y el límite inferior de 0,74 g/cm<sup>3</sup> ubicada en la parcela 9 con un rango altitudinal de 4100 m.s.n.m.
- En cambio, a una profundidad de 30-60 cm la densidad aparente demostró un promedio de 1,15 g/cm<sup>3</sup> con una desviación estándar de 0,15; siendo el límite superior de 1,39 g/cm<sup>3</sup> ubicada en la parcela #15, en el rango altitudinal 4090 m.s.n.m. y el límite inferior de 0,87 g/cm<sup>3</sup> ubicada en la parcela #6 con un rango altitudinal de 4130 m.s.n.m.

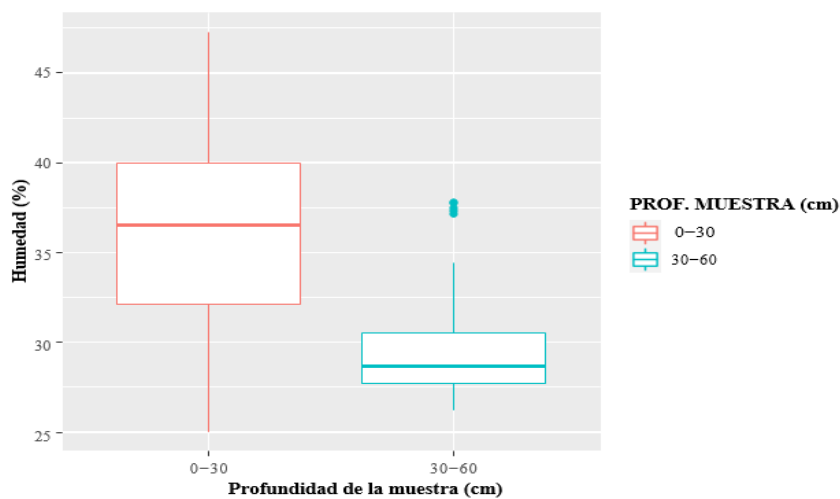


**Gráfico 2-3.** Densidad aparente de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

## Humedad

- El valor de la humedad a una profundidad de 0-30 cm tuvo un promedio de 37,15 % con una desviación estándar de 6,20; siendo el límite superior de 47,10 % encontrada en la parcela 9, en el rango altitudinal de 4100 m.s.n.m. y el límite inferior de 25,47 ubicada en la parcela 5, con el mismo rango altitudinal mencionado anteriormente.
- La humedad de 30-60 cm en promedio fue de 29,79% con una desviación estándar de 4,06; si límite superior fue de 37,55% encontrada en la parcela #11, en el rango altitudinal 4130 m.s.n.m., con un límite inferior de 23,03% ubicada en la parcela #1, la misma con un rango altitudinal 4130 m.s.n.m.



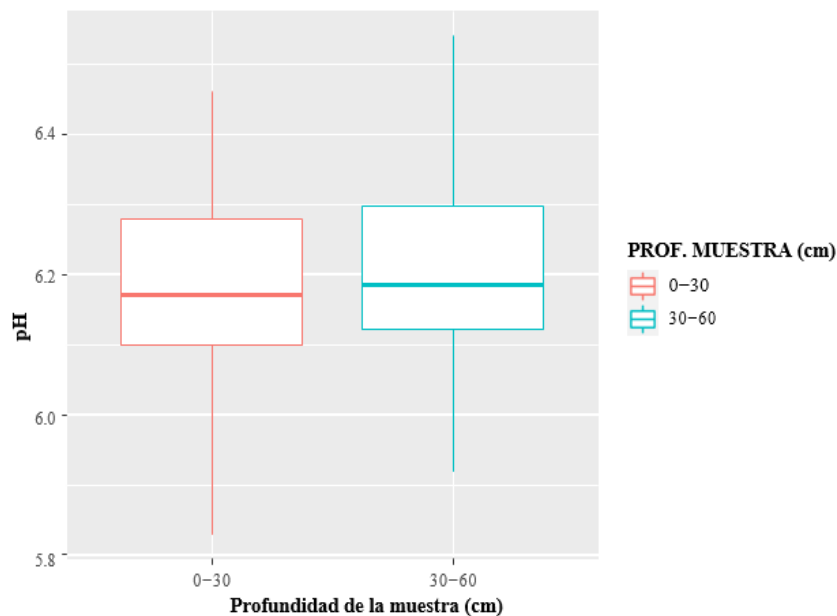
**Gráfico 3-3.** Humedad de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

## pH

En relación al pH, en la profundidad 0-30 cm obtuvo un promedio de 6,21; siendo el límite superior de 6,71 ubicada en la parcela #3 en el rango altitudinal de 4110 m.s.n.m. y el límite inferior de 5,79 ubicada en la parcela #11 el cual tiene un rango altitudinal de 4130 m.s.n.m.

El pH de la profundidad 30-60 cm mostró un promedio de 6,27; su límite superior de 6,68 ubicada en la parcela #1 en el rango altitudinal de 4130 m.s.n.m. y el límite inferior de 5,97 ubicada en la parcela #11 el cual tiene un rango altitudinal de 4130 m.s.n.m.

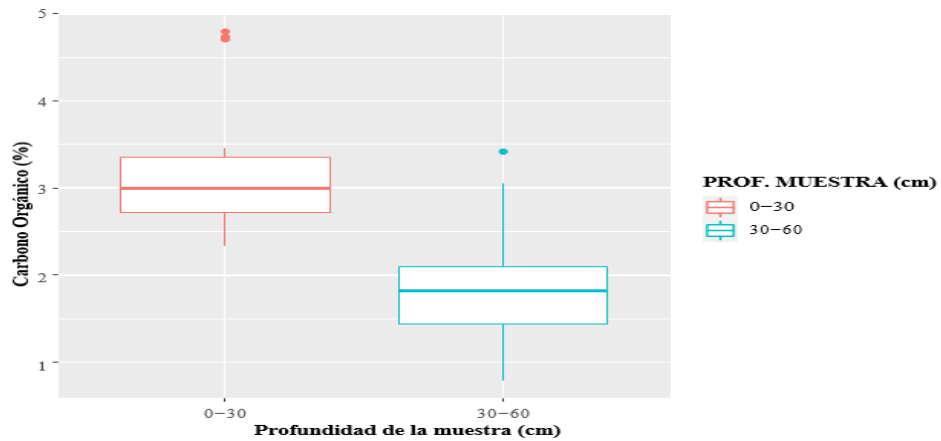


**Gráfico 4-3.** pH de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

## Carbono Orgánico

- Carbono orgánico de la profundidad 0-30 cm obtuvo un resultado promedio de 3,35 % con una desviación estándar de 0,82; un valor máximo de 5,01 % determinado en la parcela #8, en el rango altitudinal comprendido de 4110 m.s.n.m. y el valor mínimo de 2,53 % ubicada en la parcela 10 en el rango altitudinal 4090 m.s.n.m.
- En la profundidad 30-60 cm el valor promedio fue de 1,74%, con una desviación estándar de 0,67; un valor máximo de 3,15 % determinado en la parcela #4, en el rango altitudinal de 4100 m.s.n.m. y el valor mínimo de 0,62% ubicada en la parcela 15 en el rango altitudinal 4090 m.s.n.m.

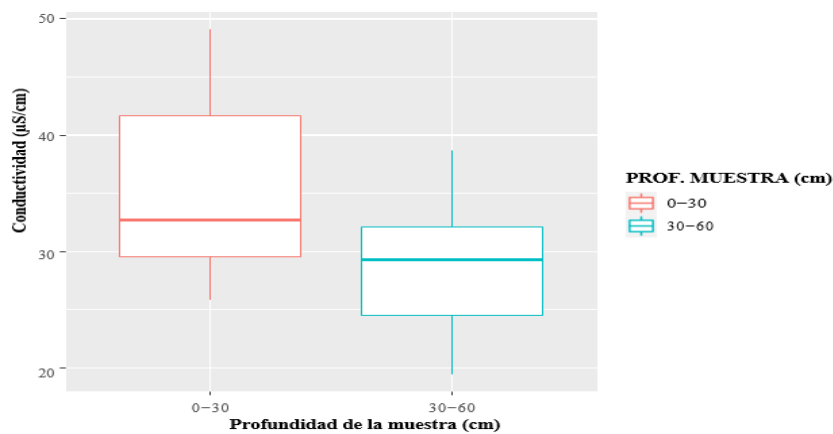


**Gráfico 5-3.** Carbono orgánico de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

### Conductividad Eléctrica

- Para la profundidad de 0-30 cm, la conductividad eléctrica dio un resultado promedio de 37,45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una desviación estándar de 7,23 correspondiente a las 14 primeras parcelas (esto es debido a que se descartó la última parcela al ser un dato atípico para el estudio estadístico (Segura, 2014, pp. 333,336)); resultando un límite superior de 46,93  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que se encuentra en la parcela #1, la cual tiene un rango altitudinal de 4 130 m.s.n.m. y el límite inferior de 27,45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  localizado en la parcela #5 con su rango altitudinal de 4090 m.s.n.m.
- La conductividad eléctrica a la profundidad de 30-60 cm obtuvo un resultado promedio de 28,76  $\mu\text{S}/\text{cm}$  con una desviación estándar de 4,83; un límite superior de 37,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que se encuentra en la parcela #9 la cual tiene un rango altitudinal 4100 m.s.n.m. y un límite inferior de 20,72  $\mu\text{S}/\text{cm}$  localizado en la parcela #4 con su rango altitudinal de 4100 m.s.n.m.



**Gráfico 6-3.** Conductividad eléctrica de suelo en recuperación del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm y de 30-60 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

## Textura

- En la textura del suelo, tanto a la profundidad de 0-30 cm y 30-60 cm, se determinó tres clases texturales, que corresponden a suelo franco arenoso, franco arenoso arcilloso y franco arcilloso; encontrándose el más representativo el suelo franco arenoso en las parcelas#6-8 y 13-15.

### 3.2. Evaluación cuantitativa de la respiración edáfica en el páramo de Igualata.

#### 3.2.1. Resultado de la respiración edáfica del suelo de páramo de Igualata.

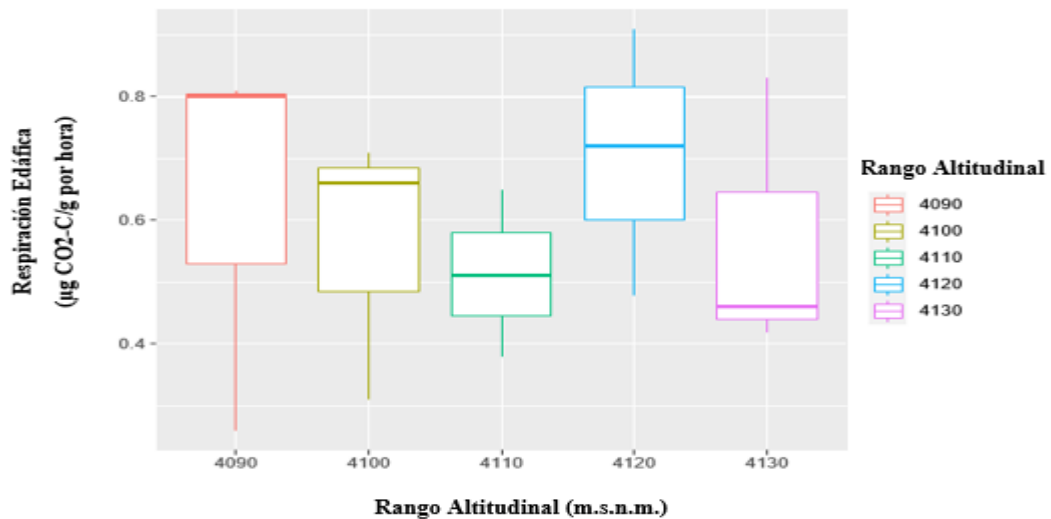
**Tabla 3-3.** Resultados de la respiración edáfica

Puntos	Altitud	Respiración Edáfica µg CO <sub>2</sub> -C/g por hora
1	4130	0,42
2	4120	0,72
3	4110	0,65
4	4100	0,31
5	4090	0,26
6	4130	0,83
7	4120	0,48
8	4110	0,38
9	4100	0,71
10	4090	0,80
11	4130	0,46
12	4120	0,91
13	4110	0,51
14	4100	0,66
15	4090	<u>0,81</u>
<i>Cursiva</i> (límite inferior), <u>Subrayado</u> (límite superior).		

**Realizado por:** Byron Paña, 2022-GIDAC.

En la tabla 3-3., se observa que el valor superior de la respiración edáfica se encuentra en el punto 15 con una altitud de 4090 m.s.n.m., en cambio el valor inferior está en el punto 5 a una altitud de 4090 m.s.n.m. El valor promedio de la respiración edáfica es de: 0,59 µg CO<sub>2</sub>-C/g por hora.

### 3.2.2. Respiración edáfica y el rango altitudinal

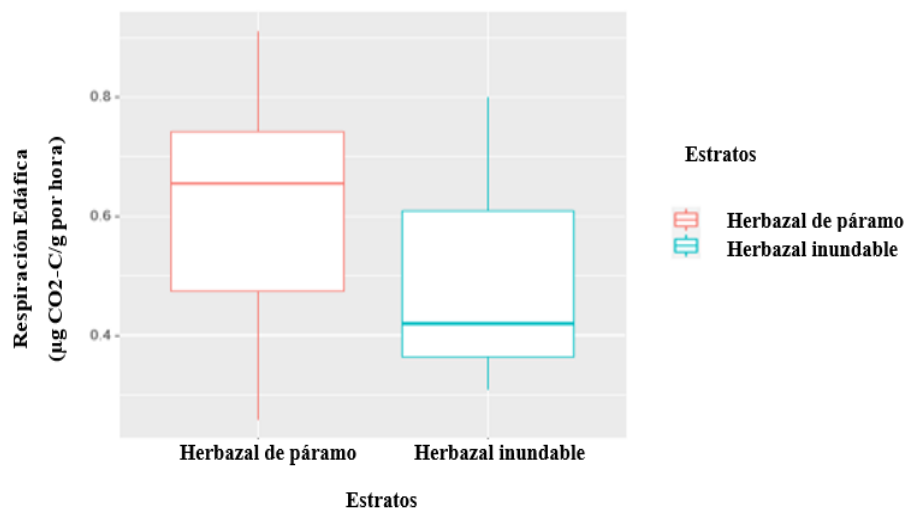


**Gráfico 7-3.** Distribución de la respiración edáfica con respecto al rango altitudinal del páramo de Igualata.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

Como se puede observar en el gráfico 7-3. el rango altitudinal en función a la respiración edáfica presenta su máximo valor a los 4090 m.s.n.m. con una respiración edáfica promedio de 0,80 (ugCO<sub>2</sub>/g suelo\*h) mientras que su mínimo valor se encuentra en el rango altitudinal de 4130 m.s.n.m. el cuál cuenta con una respiración edáfica promedio de 0,46 (ugCO<sub>2</sub>/g suelo\*h).

### 3.2.3. Respiración edáfica y estratos



**Gráfico 8-3.** Distribución de la respiración edáfica con respecto a estratos de herbazal del páramo de Igualata.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

El gráfico 8-3, deja evidencia que en el herbazal de páramo se encuentra el valor máximo promedio de respiración edáfica; en cambio se tiene un valor mínimo promedio en el herbazal inundable.

### 3.2.4. *Análisis de respiración edáfica con relación a la altitud y estratos del páramo de Igualata*

Se procedió a realizar el análisis ANOVA, para la determinación de la cuantificación de la respiración edáfica con relación a las variables Rango Altitudinal y Estratos, así de esta manera comprobar si estas últimas son o no significativas con respecto a la respiración edáfica.

**Tabla 4-3.** Análisis de la Varianza (ANOVA)

	Grados de libertad	Suma de Cuadrados del Factor	Media de Cuadrados	Valor de la distribución de Fisher	Valor de la probabilidad Pr(>F)
<b>Rango Altitudinal</b>	1	0.07277	0.072769	2.4950	0.1402 n.s.
<b>Estratos</b>	1	0.00273	0.002735	0.0938	0.7647 n.s.
<b>Error</b>	12	0.34999	0.029166		

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

#### **Planteamiento de la hipótesis**

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots \mu_n = \mu$$

El factor en estudio no tiene un efecto significativo sobre la respiración edáfica.

$$H_1: \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu_j, \text{ para todo } i \neq j$$

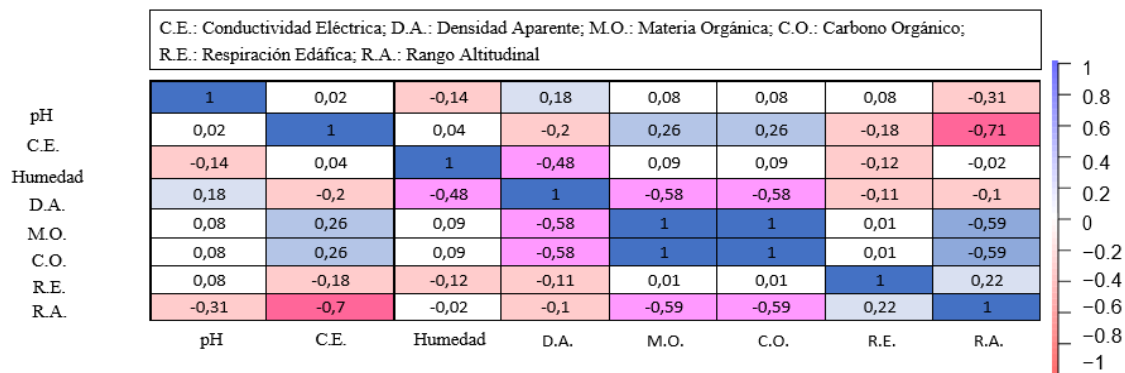
El factor en estudio si tiene un efecto significativo sobre la respiración edáfica.

**Análisis.** El análisis de Varianza (ANOVA) tabla 1-3, para el contenido de respiración edáfica (%R.E.) en el páramo de Igualata con relación a dos factores de estudio: Rango Altitudinal y Estratos, no tienen efectos significativos, puesto que ambos tienen valores p mayores al 0,05 no existe evidencia estadística para descartar la hipótesis nula por tanto se puede decir que las 2 variables no producen cambios significativos en la respiración edáfica del suelo.



### 3.3. Correlación de la respiración edáfica y de los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata

Se procedió a realizar una correlación de Pearson para medir el grado de significancia en la profundidad 0-30 cm y 30-60cm de las propiedades físicas químicas y la respiración edáfica en el páramo de Igualata.



**Gráfico 9-3.** Correlación de la respiración edáfica y los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata a una profundidad de 0-30 cm.

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

En el gráfico 9-3 se muestra la matriz de correlación con los coeficientes de correlación y sus respectivos niveles de significancia, observándose que las variables que se relacionan de manera negativa son las variables pH con humedad, humedad con densidad aparente(48%), conductividad con materia orgánica y carbono orgánico, materia orgánica con carbono orgánico con una significancia positiva (100%), se observa que la variable rango altitudinal se relaciona de una manera significativamente negativa con conductividad (70%). Las variables no tienen una relación fuerte con respiración edáfica debido a que los coeficientes de correlación analizados con esta variable son inferiores a 0.50 ya sea para una correlación negativa o positiva (Martínez,2009, p.10).

**Tabla 5-3.** Análisis de Regresión múltiple a una profundidad de 0-30 cm.

	Coeficientes						
	Estimación	Error Estándar	Valor t	Pr(> t )			
Rango Altitudinal	0.001016	0.002741	0.371	0.713			
pH	-0.130236	0.190096	-0.685	0.498			
Conductividad Eléctrica	0.004695	0.004270	1.100	0.279			
Humedad	-0.001825	0.007468	-0.244	0.808			
Densidad Aparente	-0.313300	0.411019	-0.762	0.451			
Materia Orgánica	-3.162434	6.041831	-0.523	0.604			
Carbono Orgánico	5.389554	10.403781	0.518	0.608			
Código de Significancia	0 ****	0.001 ***	0.01 **	0.05 ‘.’	0.1 ‘ ’		1

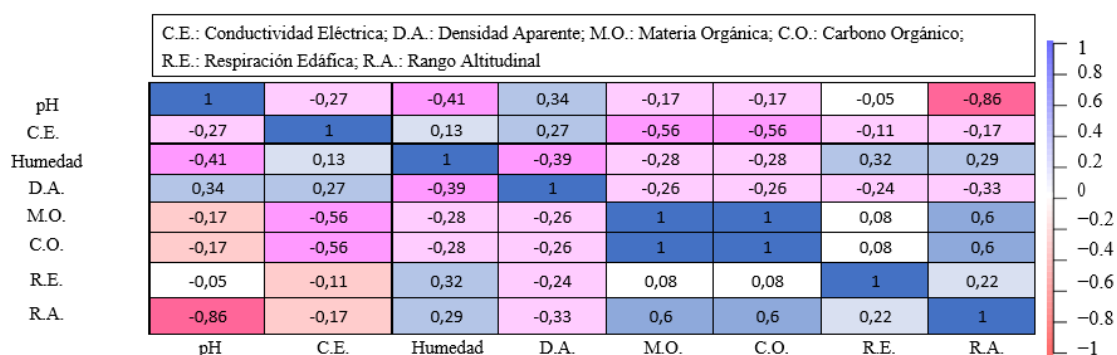
Realizado por: Paña, Byron, 2022.

### Planteamiento de hipótesis

H0:  $\beta_i=0$ ,  $i=1,2,3,4,5,6,7$

H1:  $\beta_i \neq 0$ ,  $i=1,2,3,4,5,6,7$

En la tabla 5-3, se observa que las variables analizadas presentan valores p mayores a 0,05, por ende, estas variables no explican de manera significativa a la respiración edáfica, por lo que no se descarta la hipótesis nula.



**Gráfico 10-3.** Correlación de la respiración edáfica y los distintos parámetros físico-químicos del páramo de Igualata a una profundidad de 30-60 cm

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

La matriz de correlación del gráfico 10-3. Muestra los coeficientes de correlación con sus niveles de significancia de la relación entre variables. Se observa que pH (41%) y densidad aparente (0,39%) se relacionan de manera inversa con humedad; conductividad eléctrica (56%) se relaciona de manera negativa con materia y carbono orgánico, rango altitudinal se relaciona fuertemente de manera negativa con pH (86%); materia y carbono orgánico se correlacionan de manera positiva (100%); respiración edáfica tienen una relación débil con humedad ya que su coeficiente de correlación es menor a 0.5 (Martínez,2009, p.10).

**Tabla 6-3.** Análisis de Regresión múltiple a una profundidad de 30-60 cm.

	Coeficientes						
	Estimación	Error Estándar	Valor t	Pr(> t )			
Rango Altitudinal	-0.003315	0.003250	-1.018	0.3151			
	0.190068	0.258934	0.734	0.4676			
Conductividad Eléctrica	0.011514	0.010490	1.098	0.2794			
Humedad	0.003608	0.011995	0.301	0.7652			
Densidad Aparente	-0.688902	0.366595	-1.879	0.0681			
Materia Orgánica	-7.334923	5.901013	-1.243	0.2217			
Carbono Orgánico	12.573205	10.173818	1.236	0.2243			
Código de Significancia	0 ****	0.001 ***	0.01 **	0.05 ‘.’	0.1 ‘ ’		1

Realizado por: Paña, Byron, 2022.

### **Planteamiento de hipótesis**

H0:  $\beta_i=0$ ,  $i=1,2,3,4,5,6,7$

H1:  $\beta_i \neq 0$ ,  $i=1,2,3,4,5,6,7$

En la tabla 6-3, se observa que las variables de análisis tienen valores de p mayores a 0,05, por lo que no se descarta la hipótesis nula y se asume las variables de estudio no se relacionan de manera significativa con la respiración edáfica.

### **3.4. Discusión de resultados**

#### ***3.4.1. Parámetros físicos químicos del suelo del páramo de Igualata***

##### *3.4.1.1. pH del suelo*

Según Osorio (2012 pp. 1-4), los suelos que poseen valores de pH 6.0 a 6.5 tienen una categoría de pH ligeramente ácido, con estas consideraciones, los suelos en estudio se consideran en esta categoría, en las dos profundidades (0-30) y (30-60) cm con un pH promedio de 6,21 y 6,27 respectivamente (gráfico 4-3), este tipo de pH puede deberse a un alto contenido de aluminio y acidez orgánica intercambiable.

##### *3.4.1.2. Conductividad del suelo*

El valor promedio de la conductividad eléctrica a la profundidad de 0-30 cm fue de 37,45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y para la profundidad de 30-60 cm un valor promedio de 46,93  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cuyos valores se observan en el gráfico 6-3. De acuerdo a Rivadeneira (2015, pp 1-80), los valores de los dos suelos en análisis representan a un suelo no salino, evidencian baja conductividad del suelo, debido a que, se encuentran en proceso de restauración, mediante mecanismos de regeneración natural asistida, mismos que permiten mejorar sus capacidades biogeoquímicas y por ende su calidad.

##### *3.4.1.3. Densidad aparente del suelo*

Los valores promedios de densidad aparente se pueden revisar en el gráfico 2-3. Según Llambí et al. (2012, pp 13-20), las profundidades de 0-30 cm con una densidad aparente de 0,95  $\text{g}/\text{cm}^3$  y 30-60 cm con una densidad aparente de 1,15  $\text{g}/\text{cm}^3$  representan valores altos de densidad, debido a que, los suelos de la zona provienen de procesos de erupción volcánica, sin embargo, se ha visto modificado la mesofauna y la estabilidad de los agregados, por actividades humanas.

#### *3.4.1.4. Humedad*

En la figura 3-3., se identifica que, el valor de la humedad a una profundidad de 0-30cm tuvo un promedio de 37,15 % y de 30-60 cm la humedad obtuvo un promedio de 29,79%. Pruna (2016, p. 59), señala que los valores de humedad varían de acuerdo con la época, por ejemplo, las condiciones húmedas predominantes del suelo provocan una saturación del agua en la superficie del suelo, el contenido de humedad va en detrimento lentamente según las condiciones y el aporte de materia orgánica.

#### *3.4.1.5. Materia Orgánica*

De acuerdo con Cárdenas (2015, pp. 74-75), se observa en el gráfico 1-3., que en la profundidad de 0-30 cm la materia orgánica representa un porcentaje medio de 5,77%, en cambio en la profundidad 30-60 cm el 3,01% representa un valor bajo de materia orgánica, cabe recalcar que valores altos de materia orgánica contribuyen a densidades inferiores, los indicadores de procesos de recuperación en lugares propios de la restauración a menudo se observan en temporalidades muy altas, incluso el efecto previo de disturbación de los ecosistemas, tienen relación a la capacidad de almacenaje de carbono en el suelo luego de la extracción por efecto de la emisión por actividades agropecuarias.

#### *3.4.1.6. Carbono Orgánico*

En el gráfico 5-3., se determina que a una profundidad 0-30 cm, el promedio de carbono orgánico es de 3,35% y en la profundidad 30-60 cm su valor promedio fue de 1,74%. Acorde a Martínez et al. (2008, pp.68-96), el carbono orgánico del suelo se encuentra estrechamente relacionado a la materia orgánica del suelo, al ser el COS un elemento de gran importancia para la formación de la MOS proporcionando coloides de intercambio catiónico de gran capacidad.

#### *3.4.1.7. Textura*

La textura representativa del suelo del páramo de Igualata, fue franco arenoso, tanto a una profundidad de 0-30 cm y 30-60 cm. Margez et al. (2013, pp. 211-213) señala que este tipo de suelo presenta las siguientes características; densidad aparente alta y mantiene cantidades de humedad baja, caso contrario ocurre con suelos arcillosos que poseen una densidad baja, pero gracias a los poros existentes en el suelo una humedad alta.

### **3.4.2. Respiración edáfica y su relación con distintos factores**

La tabla 3-3, muestra que, la respiración edáfica del páramo de Igualata no se relaciona con el sustrato ni con el rango altitudinal del páramo en estudio, resultados que se contrastan con Paucar y Velastegui (2019, pp. 1-50). Euriel (2018) señala que, esta baja relación puede deberse a la cantidad de materia orgánica al ser un factor limitante de la respiración del suelo, como también las bajas temperaturas, precipitaciones, raíces, organismos heterótrofos y acciones que afectan la estructura del suelo del páramo (Echeverría et al. 2018, pp. 2-8).

El gráfico 9-3 muestra que, la respiración edáfica tiene una correlación débil con la humedad. De acuerdo a Merchán (2020, pp. 7-14) la respiración edáfica tiene una relación significativa con respecto a la humedad 80% y densidad aparente. Por lo cual, la humedad del páramo al presentar valores menores al mencionado tiene una baja correlación con la respiración edáfica de la zona de estudio.

En el gráfico 9-3., la humedad, materia y carbono orgánico se correlacionan de manera inversamente proporcional con la densidad aparente. Resultados que pueden deberse al existir alta humedad, puesto que, el agua amortigua y causa problemas en la unión de las partículas de los poros, provocando que estos se expandan y ayuden al decremento de la compactación y disminuya la densidad (Gonzales et al 2009, p.60). Por otro lado, (Romero et al. 2015, pp. 63-64) señalan que, cuando la densidad del suelo aumenta puede deber a compactaciones que perjudica el crecimiento de las raíces y la retención de humedad se ve afectada, determinando que, a mayor densidad, menor cantidad de materia y carbono orgánicos debido a la existencia preliminar de actividad antrópica. Además, la altitud se correlaciona de manera negativa con la conductividad, resultados que se asemejan con el estudio de Andrade et al., (2020, pp. 1-131) que señalan a mayor altitud existe una menor capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica, debido a que, la materia orgánica del suelo es de carácter ácido y libera cationes hidrógeno que hidrolizan minerales en rocas que se encuentran en el suelo, por este motivo es que a mayor altitud mayor materia orgánica del suelo y por ende puede existir un mayor grado de acidificación.

No existe una correlación significativa de respiración edáfica con las propiedades analizadas, como lo indica Morales (2020, pp. 1-50) debido a que se está estudiando un suelo intervenido con características de recuperación de su estado natural, por lo tanto, no hay mayor relación entre la respiración edáfica y los factores de estudio.

En el gráfico 10-3 se observa una fuerte correlación negativa de rango altitudinal con pH, dando a entender que existe mayor pH a una menor altitud, tal como lo menciona Ochoa et al. (1981), citado en Sánchez (2005, pp. 507-534) donde los valores de pH disminuyen con la altitud, esto puede ocurrir debido a las precipitaciones, además que existe la posibilidad que el pH disminuya al incrementar la temperatura. Romero et al. (2004) en Sánchez (2005, pp. 507-534) también encontraron

tendencias inversamente proporcionales entre el pH y la altitud, debido a las características mineralógicas de los materiales geológicos del área de estudio.

Existe correlación negativa entre conductividad eléctrica y materia orgánica. Andrade et al., (2020, pp. 1-131) señala que a mayor altitud existe una mayor concentración de materia orgánica por ende carbono orgánico y una reducción del valor de la capacidad de intercambio catiónico del suelo y de sus bases, debido a procesos de lixiviación del suelo.

## CONCLUSIONES

- Se encuentra un pH ligeramente ácido con valores promedio de 6,21 y 6,27 a profundidades de 0-30 y 30-60cm, conductividad eléctrica de 37,45  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 46,93  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , densidad aparente de 0,95  $\text{g}/\text{cm}^3$  y 1,15  $\text{g}/\text{cm}^3$  materia orgánica de 5,77 % y 3,01 % y contenido de carbono orgánico de 3,35% y 1,74 respectivamente.
- La relación de la respiración edáfica en el páramo del Igualata con relación al Rango Altitudinal y Estratos, no tienen efectos significativos, puesto que ambos tienen valores p mayores a 0,05 por lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se tiene evidencia suficiente para decir que las 2 variables no producen cambios significativos en la respiración edáfica del suelo.
- Se observa que las variables que se relacionan con un 99% de significancia negativa a 0-30cm de profundidad es la humedad, materia orgánica, carbono orgánico con densidad aparente de una forma negativa y de forma positiva materia orgánica con carbono orgánico, densidad aparente se relaciona de manera negativa con rango altitudinal y no hay ninguna correlación significativa con respiración edáfica. En cambio, a una profundidad de 30-60 cm se observa que las variables que se relacionan con un 99% de significancia negativa es el pH con humedad, humedad con densidad aparente, conductividad con materia orgánica, y carbono orgánico, materia orgánica con carbono orgánico, rango altitudinal con pH y de manera positiva la materia orgánica con carbono orgánico, por último, la respiración edáfica se relaciona débilmente con humedad ya que su coeficiente de correlación es menor a 0.5.
- La respiración edáfica del suelo es de 0,59  $\mu\text{g CO}_2\text{-C}/\text{gh}$  lo que representa una mejora en las características de este, logrando así evidenciar que los procesos de restauración en los ecosistemas de páramo son efectivos.

## **RECOMENDACIONES**

- Socializar con las autoridades y comunidades afines al páramo de Igualata, con la finalidad de informar las condiciones actuales en las que se encuentra el páramo e incentivarlos a seguir cuidando al mismo, para de esta manera prevenir más impactos ambientales en el lugar.
- Determinar los diferentes microbiomas relacionados a la vegetación del páramo Igualata en los diferentes estratos de herbazal.



## GLOSARIO

**Actividad microbiana:** Los microorganismos juegan un papel importante porque se encargan la de degradación de materia orgánica y conforman el reservorio lábil de C,N y P (Díaz et al., 1993, p.25).

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** El dióxido de carbono es un gas generado en concentraciones altas por actividades humanas, también por erupciones volcánicas, descomposición microbiana, respiración animal y vegetal, de esta manera es el principal gas de efecto invernadero (Muñoz et al., 2019, pp. 361-362).

**Respiración edáfica de los páramos:** La respiración edáfica llamada también mineralización, es la liberación del CO<sub>2</sub> de todos los organismos vivos que habitan en el suelo de los páramos (bacterias, hongos, lombrices, raíces, etc.), dependiente de los nutrientes disponibles, biomasa, propiedades del ecosistema y diversidad microbiana (Moorberg & Crouse, 2017, p. 87).

**Suelo:** El suelo para Weii (2000) citado por Pereira et al. (2011, p.17), es un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), gases y líquidos, tiene diferentes horizontes o capas que lo diferencian según su profundidad.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALEF, KASSEM & NANNIPIERI, PAOLO.** *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry* [en línea]. ScienceDirect, 1995. [Consulta: 03 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780125138406/methods-in-applied-soil-microbiology-and-biochemistry>

**ANDRADE, AMALIA & YÉPEZ, HECTOR.** Almacenamiento De Agua Y Cuantificación De Carbono En El Ecosistema Paramo Dentro De Un Esquema Global [en línea]. (Trabajo de titulación).Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Civil y Ambiental, Quito. 2014. pp. 1-131. [Consulta: 2021-09-10]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7386>

**ANDRADE-MUÑOZ, LUIS BERNARDO, et al.** *Zonificación del pH, capacidad de intercambio catiónico, Conductividad eléctrica y materia orgánica en la parroquia Cangahua, provincia Pichincha.* 2020.

**ANZUETO, JOSÉ & ÁLVAREZ, MANUEL.** *Agrociencia.* "Soil Microbial Activity Under Different Corn Cropping Systems". [en línea],2004, (México)1(38), pp. 13-22. [Consulta: 13 septiembre 2021]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30238102.pdf>

**BABUR, EMRE.** *Scandinavian Journal of Forest Research.* "Effects of parent material on soil microbial biomass carbon and basal respiration within young afforested areas". [en línea], 2019, 34 (2), p. 97. [Consulta: 07 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1561936>

**BÁRBARO, LORENA; et al.** *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas* [en línea]. Instituto de Floricultura CIRN. 2005. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)

**BECERRA, MANUEL & MANCE, HENRY.** *Cambio climático , lo que esta en juego* [en línea]. Bogotá-Colombia: Dupligráficas, 1904. [Consulta: 24 octubre 2021]. Disponible en: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/07216.pdf>

**BLANQUER, GISBERT; et al.** *Escuela Politécnica de Valencia.* "La textura de un suelo". [en

línea], 2015, p.3. [Consulta: 09 de noviembre 2021]. Disponible en:<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>.

**BLOEM, JAAP; et al.** *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality* [en línea]. CABI Publishing, 2008. [Consulta: 03 noviembre 2021]. ISBN 0-85199-098-3. Disponible en: [http://dl.mozh.org/up/\\_Microbiological\\_Methods\\_for\\_Assessing\\_Soil\\_Quality\\_\\_Cabi\\_Publishing\\_.pdf](http://dl.mozh.org/up/_Microbiological_Methods_for_Assessing_Soil_Quality__Cabi_Publishing_.pdf)

**BURT, REBECCA.** *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual* [en línea]. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 2009. [Consulta: 05 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052249.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052249.pdf)

**CADENA, GEOVANNY.** Estudio comparativo de la respiración Edáfica [en línea ] (trabajo de titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Estudios Superiores IZTACALA, Ciencias. Los reyes Iztalca, México. 2016. p. 36. [Consulta: 13 octubre 2021]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2016/mayo/0745106/0745106.pdf>

**CARDENAS, MYRIAM.** Evaluación de la calidad de los suelos de páramo intervenidos y no intervenidos en la comuna Monjas Bajo, parroquia Juan Montalvo Cantón Cayambe. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. pp. 78-79 [Consulta: 28 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9368/1/UPS-QT07111.pdf>

**CARRASCO, MIGUEL; et al.** *Perfiles.* "Análisis del ecosistema paramo Igualata frente al cambio climático en base a los recursos naturales". [en línea], 2016, (Ecuador) 1(2), pp. 11-16. [Consulta: 12 octubre 2021]. Disponible en: <http://docplayer.es/76141272-Analisis-del-ecosistema-paramo-igualata-frente-al-cambio-climatico-en-base-a-los-recursos-naturales.html>

**CHATTERJEE, A.; et al.** *Critical Reviews in Plant Sciences.* "Evaluation of different soil carbon determination methods". [en línea], 2009, (Inglaterra) 28(3), pp. 164-178. [Consulta: 15 de noviembre 2021]. ISSN 07352689. DOI 10.1080/07352680902776556. Disponible en: <https://n9.cl/sxka>

**CHUNCHO, CARLOS & CHUNCHO, GUILLERMO.** *Bosques Latitud Cero* "Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una re". [ En línea], 2019, (Ecuador) 9(2), pp. 71-83. [Consulta: 2 octubre 2021]. Disponible en:

<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>

**COMMON, MICHAEL; & STAGL, SIGRID.** *Ecological Economics*. "Climate change". [en línea], 2012, (República Dominicana)37 (2), pp. 482-520. [Consulta: 15 de Septiembre 2021] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>.

**COVALEDA, SARA; et al.** Soil CO<sub>2</sub> emissions in a transect of pine-oak forests affected by human activities located at the Atzacuaro catchment [En línea] (trabajo de titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado, Ciencias. Texcoco-México. 2009. p.125. [Consulta: 6 octubre 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/35560>.

**CRUZ, JUAN.** *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Chimborazo 2020-2030* [en línea]. Ecuador-Chimborazo: Prefectura Chimborazo, 2020. [Consulta: 18 octubre 2021]. Disponible en: <https://chimborazo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/1.-PDOT-Provincial.pdf>

**DE GROOT, Rudolf ; et al.** *Ecological Economics*. "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services". [En línea], 2002,(USA) 41 (3), pp. 393-408. [Consulta: 26 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800902000897>

**DÍAZ, M; et al.** "Microbial biomass and its contribution to nutrient concentrations in forest soils". *Soil Biology and Biochemistry* [en línea],1993,(España)25(1), pp. 25-31. [Consulta: 20 de septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071793902376>.

**EURIEL, M.-R., LUIS, S.-M., & CARLOS, M.-P.** *Soil Respiration for Four Vegetation uses in the University of Sucre - Colombia*. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(40), 1–10. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i40/130132>

**EYHERABIDE; SAINZ; et al.** *Ciencia del suelo*, "Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo". [en línea], 2014 (Argentina) 32(1), pp. 13-19. [Consulta:9 de noviembre 2020]. ISSN 1850-2067. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25777>

**FLORES MARGEZ, JUAN PEDRO et al.** *Terra Latinoam* "Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino ". [online]. 2013, 31(3), pp.211-220. [Consulta: 04 enero 2022], Disponible en:

<[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018757792013000400211&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792013000400211&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 2395-8030.

**FLORES, LOURDES.** Instituto de Geología Manual de Procedimientos Analíticos Física de Suelos [en línea](trabajo de titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Geología, Edafología. México. 2010. p.68. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: [https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL\\_DE\\_LABORATORIO\\_DE\\_FISICA\\_DE\\_SUELOS1.pdf](https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL_DE_LABORATORIO_DE_FISICA_DE_SUELOS1.pdf).

**FUENTES, LUIS.** *Investigaciones Geográficas*. "Interpretación y análisis de suelos". [en línea], 1971, (Madrid) 1( 4), pp. 10-15. [Consulta: 20 de septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/58865>

**GÓMEZ, JUAN.** *Servicio Nacional de Aprendizaje* "Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos". [en línea], 2013, (Colombia)1 (2), pp. 100. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas\\_campo\\_laboratorio\\_suelos.pdf](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf)

**GONZÁLEZ CUETO, OMAR, IGLESIAS CORONEL, CIRO E., HERRERA SUÁREZ, MIGUEL.** "Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea]. 2009, 18(2), 57-63. [Consulta 4 de marzo de 2022]. ISSN: 1010-2760. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215937011>

**GUANO, GAD.** *Parroquia Valparaiso – Paramo/ Mirador Natural* [blog]. [Consulta: 18 de octubre 2021]. Disponible en: <http://www.municipiodeguano.gob.ec/index.php/ciudad/parroquias/valparaiso>

**GUERRERO, PILAR; et al.** *Terra Latinoamericana* "Respiración de CO<sub>2</sub> como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de Lupinus". [en línea], 2012, (México) 4(30), p. 357. [Consulta: 05 noviembre 2021]. ISSN 2395-8030. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325814007.pdf>

**HANEY, R; et al.** *Renewable Agriculture and Food Systems* "Soil CO<sub>2</sub> respiration: Comparison of chemical titration, CO<sub>2</sub> IRGA analysis and the Solvita gel system". [en línea], 2008 (USA)23 (2), pp. 171-176. [Consulta: 10 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/renewable-agriculture-and-food-systems/article/abs/soil-co2-respiration-comparison-of-chemical-titration-co2-irga-analysis-and->

the-solvita-gel-system/A47A8DA5F83FDD1FF16829B18F287299

**HANEY, R; et al.** *Communication in Soil Science and Plant Analysis* "Estimating Soil Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Mineralization from Short-Term Carbon Dioxide Respiration". [en línea], 2008, 39, p. 2709. [Consulta: 03 noviembre 2021]. ISSN 0010-3624. Disponible en: <https://www.mssoy.org/uploads/files/haney-test.pdf>

**HINOSTROZA, AMANDA; et al.** *Ciencia y Desarrollo* "Dynamics of microbial biomass and its relationships with soil respiration and total nitrogen in agricultural land in Mantaro Valley". [en línea], 2013, (Ecuador)16 (1), pp. 17-31. [Consulta: 11 septiembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7944948>

**HOFSTEDE, ROBERT; ET al.** *Los Paramos del Mundo.pdf* [en línea]. Quito-Ecuador: Ecociencia, 2003. [Consulta: 8 octubre 2021]. Disponible en: [https://www.portalces.org/sites/default/files/references/038\\_Hofstede%20et%20al.%20%28eds%29.2003.Los%20Paramos%20del%20Mundo.pdf](https://www.portalces.org/sites/default/files/references/038_Hofstede%20et%20al.%20%28eds%29.2003.Los%20Paramos%20del%20Mundo.pdf)

**HOSSNE G., AMÉRICO J.** *Terra Latinoam.* "La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo". [online]. 2008, vol.26, n.3 [Consulta: 04 marzo 2022], pp.195-202. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792008000300001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000300001&lng=es&nrm=iso). ISSN 2395-8030.

**JANDL, ROBERT & RODEGHIERO, MIRCO.** *Forest Soil Respiration under Climate Changing* [en línea]. Barcelona: Special Issue Published in Forests, 2017. [Consulta: 19 octubre 2021]. Disponible en: [http://www.mdpi.com/journal/forests/special issues/soil respiration](http://www.mdpi.com/journal/forests/special%20issues/soil%20respiration)

JARAMILLO, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Introducción a La Ciencia Del Suelo*, 619.

**JARAMILLO, DANIEL.** *Introducción a La Ciencia Del Suelo.* "Introducción a la ciencia del suelo". [en línea], 2002, (Colombia) 12 (1), pp. 619. [Consulta: 2 septiembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**KREBS, LUCIANO.** Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono [en línea]. (Tesis

de grado ).Escuela Superior Politécnica del Litoral,Ingeniería Marítima y del mar, Ciencias, Guayaquil.2003. pp. 67. [Consulta: 2021-09-17]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8666>.

**LABAN, PETER; et al.** *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*.Suiza-Unión Europea:UICN, 2018. [Consulta: 2 octubre 2021]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-004-Es.pdf>

**LEFEVRE, C; et al.** *Carbono Orgánico del Suelo el Pontencial Oculito*. Bogota-Colombia, 2017. pp. 19-47. ISBN 9789253096817.

**LLAMBÍ, L; et al.** *Páramos Andinos: Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. 5 ed. Quito: Proyecto Páramo Andino, 2012. [Consulta:12 de Octubre 2021]. ISBN 9789942115492, Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf>.

**LOPERA, MARÍA.** *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales “Flujo de CO2 del suelo bajo diferentes coberturas de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá”*. [en línea], 2019, (Bogotá) 43(167), pp. 234-239. [Consulta: 01 octubre 2021]. ISSN 0370-3908. Disponible en: <http://orcid.org/0000-0002-4961-6661>

**LOPEZ, EDGAR.** *El cambio climático y la gestión de páramos* [en línea]. Ecuador-Quito: Camaren / AVSF, Agrónomos y Vererinaros Sin Fronteras, 2012. [Consulta: 17 octubre 2021]. Disponible en: <https://camaren.org/documents/cambioclimatico.pdf>

**MAJA, Krzic; et al.** *Digging into Canadian Soils: An Introduction to Soil Science* [en línea]. Canadian: Canadian Society of Soil Science, 2021. [Consulta: 18 octubre 2021]. Disponible en: <https://open.umn.edu/opentextbooks/textbooks/digging-into-canadian-soils-an-introduction-to-soil-science>

**MARTINEZ H, et all.** *Suelo Nutr. Veg.* "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *R.C.* [online]. 2008, 8(1), pp.68-96. [Consulta: 04 enero 2022], Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071827912008000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071827912008000100006&lng=es&nrm=iso). ISSN 0718-2791. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>

**MARTÍNEZ, S., & ANDRADES, M.** *Revista de Ciencias Agrícolas*, Evaluación de métodos para la determinación de fósforo aprovechable en suelos volcánicos de la zona andina del departamento de Nariño. 4(1), 55–63.

**MARTÍNEZ., ELENA & ANDRADES., SOLEDAD.** *Revista de Ciencias Agrícolas* "Fertilidad del suelo y parámetros". [en línea], 1972, (España)4(1), pp. 55-63. [Consulta: 8 de septiembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>

**MENA, PATRICIO & HOFSTEDE, ROBERT.** *Botánica Económica de los Andes Centrales* "Los páramos ecuatorianos". [en línea], 2006, (Bolivia), pp. 91-106. [Consulta: 06 octubre 2021]. Disponible en: <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2006.pdf>

**MERCHÁN, LUISA.** *Pontificia Universidad Javeriana* "Estimación del flujo de CO<sub>2</sub> bajo diferentes coberturas en dos áreas del Complejo de páramos de Chingaza". [en línea], 2020, (Bogotá), pp. 7-14. [Consulta: 30 septiembre 2021]. Disponible en: <https://n9.cl/kq5y6>

**MILLÁN, EURIEL; et al.** *2º Congreso Latinoamericano de Ingeniería Retos en la formación de ingenieros en la era digital* "Efectos de cuatro tipos de vegetación sobre la respiración del suelo en la Universidad de Sucre". [en línea], 2019, (Colombia), pp. 1-11. [Consulta: 24 septiembre 2021]. Disponible en: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/169/163>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *El Gobierno de Todos* "Programa Nacional de Reforestación con Fines de Conservación Ambiental, Protección de Cuencas Hidrográficas y Beneficios Alternos". [en línea], 2014, (Ecuador), pp. 2-60. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/04/REFORESTACION.pdf>

**MOEBIUS, L.; et al.** *Comprehensive Assessment of Soil Health*. Ithaca- New York, 2016.p.52 .ISBN 0-967-6507-6-3.

**MOITINHO, MARA; et al.** *Soil & Tillage Research*. "On the spatial and temporal dependence of CO<sub>2</sub> emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum spp.*) production". [en línea], 2015, 148, (Brazil), pp. 127-131. [Consulta: 27 septiembre 2021]. ISSN 0167-1987/. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.12.012>

**MOORBERG, COLBY & CROUSE, DAVID.** *Soils Laboratory Manual, K-State Edition* [en línea]. Kansas: NPP eBooks, 2017. [Consulta: 18 octubre 2021]. Disponible en: <https://newprairiepress.org/ebooks/15>

**MORA, JAIRO; et al.** *Bioindicadores en suelos y abonos orgánicos* [en línea]. Colombia: Universidad del Tolima, 2019. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/120999>



**MORALES, SEGUNDO.** Relación de la respiración edáfica con las propiedades físico-químicas de los suelos de la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ecuador. 2020. pp. 1-50 [Consulta: 2021-09-22]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14255>

**MOROCHO, CARLOS & CHUNCHO, GUILLERMO.** *Latindex* “Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: un revisión”. [en línea], 2019, (Ecuador) 9(2), pp. 71-83. [Consulta: 05 octubre 2021]. ISSN 2528-7818. Disponible en: <http://orcid.org/0000-0002-4961-6661>

**MUÑOZ, Vicenta; et al.** *Gestión y conservación de aguas y suelos* [en línea]. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2019. [Consulta: 20 octubre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/espoch/124639>

**NÁJERA, LUIS.; et al.** *Manual de Indicadores Biológicos*[en línea]. Quito: UAM, 2006. [Consulta: 11 de Octubre 2021].Disponible en : <https://www.biopasos.com/biblioteca/Manual-indicadores-biologicos-salud-suelo.pdf>

**OCHOA, CLARISA & Urroz, SALCEDO.** Determinación de la actividad microbiana como indicador biológico en suelos agrícolas del occidente de Nicaragua [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad De Ciencia y Tecnología, Nicaragua. 2011. pp. 1-55 [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3596/1/219852.pdf>  
OCHOA, R. (2013). La Universidad Católica de Loja. 105.

**OCHOA, RITA.** Comparación de dos métodos para determinar el carbono de la biomasa microbiana del suelo [ en línea]. (Trabajo de titulación).La Universidad Católica de Loja,Biología, Bioquímica,loja.2013. p. 105. [Consulta: 2021-08-10]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/13350>

**OTZEN, TAMARA & MANTEROLA, CARLOS.** *Int. J. Morphol.* "Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio". [online]. 2017, 35(1), pp.227-232 [Consulta: 17 marzo 2022], Disponible en: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0717-9502. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

**PAUCAR, PAOLA, & VELASTEGUI, JUAN.** Cuantificación de la respiración edáfica como

medida de la actividad microbiana en suelos de la microcuenca del río Chimborazo [en línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ecuador. 2019. pp. 1-50 [Consulta: 2021-09-22]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11137/1/236T0439.pdf>

**PEREIRA, CÉSAR; et al.** *Edafología 1* [en línea]. Colombia: Universidad en el campo, 2011. [Consulta: 13 septiembre 2021]. Disponible en: [www.espaciograficosa.com](http://www.espaciograficosa.com)

**PITOMBO, LEONARDO; et al.** *ScienceDirect* “Methodology for soil respirometric assays: Step by step and guidelines to measure fluxes of trace gases using microcosms”. [en línea], 2018, (Brasil), p. 660. [Consulta: 07 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.06.008> 2215-0161

**RIVADENEIRA, D. M.** Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Tesis, 1–100. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>.(2015).

**ROSERO, DIANA.** *Cerro Igualata* [blog]. [Consulta: 2021-09-12]. Disponible en: <http://www.quero.gob.ec/index.php/turismo/sitios-turisticos/cerro>

**SALCEDO, L.** Tasa anual de respiración edáfica en cuatro usos de suelo en el campus de la Universidad de Sucre – sede Puerta Roja [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad De Sucre, Facultad De Educación y Ciencias Programa De Biología y Química, Colombia. 2017. pp. 12-69 [Consulta: 2021-09-28]. Disponible en: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/169>

**SÁNCHEZ, BELKYS; RUIZ, MAGALY; RÍOS, MARÍA MAGDALENA.** *Agronomía tropical*, Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. 2005, vol. 55, no 4, p. 507-534.

**SCHINNER, FRANZ; et al.** *Methods in Soil Biology* [en línea]. Springer, 1996. [Consulta: 07 noviembre 2021]. ISBN 978-3-642-60966-4. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-60966-4>

**SCHWEIZER, SUSANA.** *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad* [en línea]. Costa Rica: INTA Costa Rica, 2011. [Consulta: 21 septiembre 2021]. ISSN 0033-3042, Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

**SEGURA, E.O., et al.** *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Tratamiento de valores perdidos y atípicos en la aplicación del Modelo Estadístico de Medición de Impacto en un estudio de 90

fincas lecheras en la provincia de Pastaza, Ecuador. [en línea]. 2014, 48(4), pp. 333-336[fecha de Consulta 14 de Enero de 2022]. ISSN: 0034-7485. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193033033004>

**STOLBOVOY, VLADIMIR; et al.** *European Communities*. "Soil sampling protocol to certify the changes of SOC in mineral soils of the EU". [en línea], 2005, (New York), pp. 1-13. [Consulta: 2 septiembre 2021]. ISSN 9789279053795. Disponible en: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eusoils\\_docs/other/EUR21576\\_2.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR21576_2.pdf)

**VARGAS, R.** *Guía para la descripción de suelos* [en línea]. 4 ed. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón, 2009. [Consulta: 24 octubre 2021]. ISBN 9789253055210, Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2016000087>

**VARGAS, R. R.** *Guía para la descripción de suelos*. En Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Vol. 3, Número 4). file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 (1).pdf

**ZAGAL, S. Y.** *Suelos y lodos*. Universidad de Concepción Facultad de de Agronomía Chillán, Elaborado con la participación de la Comisión de Normalización y Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero. Ciencia Del Suelo.

**ZAGAL, SADSAWKA.** *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos* [en línea]. Ciencia Del Suelo, 2007. [Consulta: 10 octubre 2021]. Disponible en: [http://www.sag.cl/sites/default/files/METODOS\\_LODOS\\_SUELOS.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/METODOS_LODOS_SUELOS.pdf)

**ZULETA, M., HECK, V., GROEGER, M., & THIESSENHUSEN, M.** *Dióxido de carbono y calentamiento climático global: un tema para introducir en la escuela colombiana*. Actualidades Pedagógicas, 1(72), 203–223. <https://doi.org/10.19052/ap.5205>

**ZULETA, MONICA & HECK, V.** *"Dióxido de carbono y calentamiento climático global: un tema para introducir en la escuela colombiana"*. Actualidades Pedagógicas [en línea], 2018, (Colombia)1(72), pp. 203-223. [Consulta: 7 septiembre 2021]. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1346&context=ap>.

LEONARDO MEDINA  
13-05-2022



## ANEXOS

### ANEXO A: CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS PARA LA PREPARACIÓN DE REACTIVOS

#### A1. Cálculo de la masa de NaOH necesaria para preparar 250mL de solución 1M.

$$\frac{1\text{molNaOH}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{4000\text{g NaOH}}{1\text{molNaOH}} \times \frac{100\text{ g NaOH}}{98\text{g NaOH}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 10.204\text{g de NaOH}$$

**Nota:** Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

#### A2. Cálculo de la masa de NaOH necesaria para preparar 250mL de solución 0.1M.

$$\frac{0.1\text{molNaOH}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{4000\text{g NaOH}}{1\text{molNaOH}} \times \frac{100\text{ g NaOH}}{98\text{g NaOH}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 1.0204\text{g de NaOH}$$

**Nota:** Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

#### A3. Cálculo de la masa de BaCl<sub>2</sub> necesaria para preparar 250mL de solución 0.05M.

$$\frac{0.05\text{molBaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{244.28\text{g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{1\text{mol BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{100\text{ g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}{98\text{g BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} \times \frac{250\text{mL de solución}}{1000\text{mL de solución}}$$

$$= 3.0843\text{g de BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

**Nota:** Los valores correspondientes a: masa molar y pureza fueron extraídos de la etiqueta del producto perteneciente al laboratorio de reactivos y química fina LOBA CHEMIE PVT. LTD ®

#### A4. Cálculo de la masa de fenolftaleína necesaria para preparar 100mL de solución 0.1% p/v.

$$\frac{0.1\text{g de fenolftaleína}}{100\text{mL de solución etanólica 60\%}} \times 100\text{mL de solución etanólica 60\%}$$

$$= 0.1\text{g de Fenolftaleína}$$

**A5. Cálculo del volumen de ácido clorhídrico necesario para preparar 250mL de solución aparentemente 0.05M**

$$\frac{0.05 \text{ mol de HCl}}{1000\text{mL de solución}} \times \frac{36.46 \text{ g de HCl}}{1\text{mol HCl}} \times \frac{100\text{g de HCl}}{37\text{g de HCl}} \times \frac{1\text{mL de HCl}}{1.19\text{g de HCl}} \times \frac{250\text{mL}}{X}$$

$$= 1,04 \text{ mL de HCl}$$

**ANEXO B: MATERIALES USADOS PARA EL MUESTREO.**

	
<p><b>B1. Rotulador</b></p>	<p><b>B2. Bolsas de sello hermético/halar</b></p>
	
<p><b>B3. Cilindros</b></p>	<p><b>B4. Equipo de georreferenciación (gps)</b></p>
	
<p><b>B5. Barreno</b></p>	<p><b>B6. Hoyadora</b></p>

**ANEXO C: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.**



**C1.** Recolección de muestras para análisis de respiración edáfica a 15 cm de profundidad.



**C2.** Recolección de muestras para análisis físico-químico profundidad 0-30 y 30-60cm.



**C3.** Utilización de cilindros en la zona para analizar densidad aparente y humedad.



**C4.** Homogenización de muestras










**C5.** Muestras etiquetadas y almacenadas dentro de las bolsas de sello hermético.

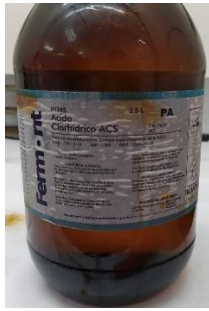


**C6.** Lugar antes y después del muestreo.

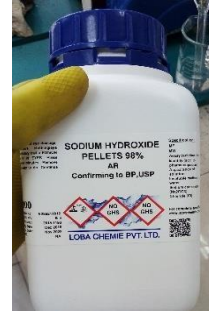
**ANEXO D: MATERIALES Y REACTIVOS USADOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA.**

	
<b>D1. Balanza analítica</b>	<b>D2. Pera de succión</b>
	
<b>D3. Vasos de precipitación</b>	<b>D4. Cámaras de incubación.</b>
	
<b>D5. Papel Filtro</b>	<b>D6. Parafilm ®</b>
	
<b>D7. Piseta con agua destilada desgasificada</b>	<b>D8. Soporte universal y pinzas para bureta/buretas de 50mL</b>





**D9.** Ácido clorhídrico



**D10.** Hidróxido de sodio grado analítico

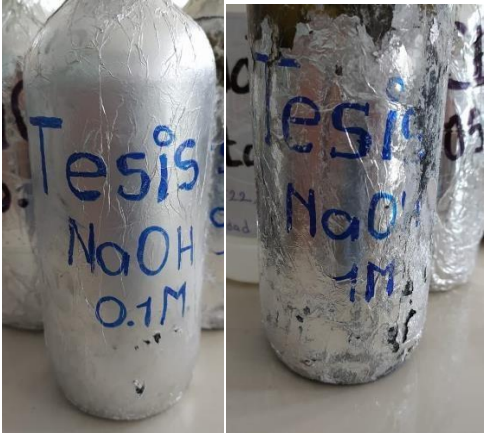

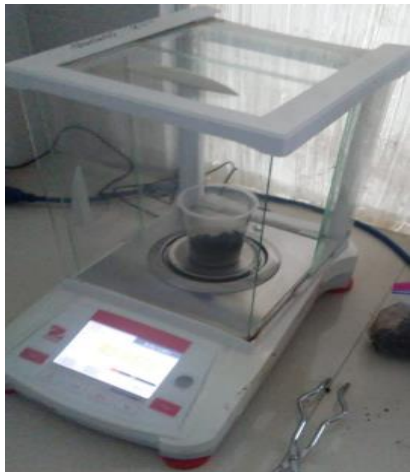





**D11.** Cloruro de bario grado reactivo



**D12.** Fenolftaleína

**ANEXO E: CUANTIFICACIÓN DE LA RESPIRACIÓN EDÁFICA.**

	
<p><b>E1.</b> Reactivos de solución captadora: concentrada 1M y de análisis 0.1M</p>	<p><b>E2.</b> Adición del papel filtro a las cámaras esterilizadas y humectación de la cámara.</p>
	
<p><b>E3.</b> Pesaje de la muestra de suelo.</p>	<p><b>E4.</b> Suelo en la cámara de preincubación y adición de la solución captadora en el blanco.</p>
	
<p><b>E5.</b> Suelo en la cámara de preincubación y adición de la solución captadora en la muestra.</p>	<p><b>E6.</b> Cámaras de preincubación selladas y debidamente etiquetadas.</p>



**E7.** Cámaras de preincubación en reposo por 7 días (en un lugar cerrado y fresco)



**E8.** Cámaras después de los 7 días.



**E9.** Extracción de la solución captadora concentrada (preincubación) en la cámara.



**E10.** Adición de la nueva solución captadora concentrada (0.1M) para incubación.



**E11.** Hermetización de las cámaras para incubación por 24 horas.



**E12.** Soluciones listas para la titulación después de las 24 horas.



**E13.** Extracción de la solución concentrada de la cámara de incubación.



**E14.** Solución concentrada agregada 4 ml de BaCl<sub>2</sub> y 2 gotas de fenolftaleína.









**E15.** Titulación de las muestras. Utilizando como titulante al HCl.



**E16.** Finalización de la titulación al llegar al punto de equivalencia.

**ANEXO F: CUANTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.**

	
<p><b>F1.</b> Cálculo de pH y conductividad del suelo.</p>	<p><b>F2.</b> Pesaje del suelo del cilindro y su ubicación en la estufa para analizar humedad y DA.</p>
	
<p><b>F3.</b> Análisis de la Textura del suelo mediante el método del tacto.</p>	<p><b>F4.</b> Tamizaje del suelo de las distintas profundidades.</p>
	
<p><b>F5.</b> Utilización de mufla y estufa para M.O. y C.O.</p>	<p><b>F6.</b> Utilización del desecador después de utilizar la estufa y la mufla.</p>



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO  
Y DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 12 / 05 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Byron Daniel Paña Vallejo</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniero en Biotecnología Ambiental</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

*Leonardo Medina*  
13-05-2022



0908-DBRA-UTP-2022